CORSO ELEMENTARE

DI ASTRONOMIA

DI

CARLO DELAUNAY

TRADUZIONE CON NOTE

del Dottor

CURZIO BUZZETTI

AGGIUNTO ASTRONOMO PRESSO IL R. OSSERVATORIO DI BRERA
PROF. DI MATEMATICA
NEL LICEO COMUNALE DI SANTA MARTA

MILANO
PRESSO CARLO TURATI EDITORE-LIBRAJO
Contrada del Durino, num. 423.

1860

BIBLIOTECA POLITECNICA

CORSO ELEMENTARE

DI ASTRONOMIA

AVVERTENZE DELL' EDITORE

Si avverte che in questa prima edizione italiana, eseguita sulla quarta edizione francese, vi sono, oltre le note in calce ad ogni pagina, delle aggiunte originali del traduttore, che portano un aumento di 12 figure oltre quelle che si trovano nel testo suddetto.

CORSO ELEMENTARE
DI ASTRONOMIA

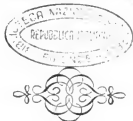
DI

CARLO DELAUNAY

TRADUZIONE CON NOTE

del Dottor

CURZIO BUZZETTI

AGGIUNTO ASTRONOMO PRESSO IL R. OSSERVATORIO DI BRERA,
PROFESSORE DI MATEMATICA
NEL LICEO COMUNALE DI SANTA MARTA.

MILANO
PRESSO CARLO TURATI EDITORE-LIBRAJO
CONTRADA DEL DURINO, NUM. 423
1860

INTRODUZIONE

1. In generale si dà il nome di *astri* al sole, alla luna e a quella moltitudine di punti scintillanti, o stelle, che veggonsi disseminati nel cielo durante la notte. L'Astronomia ha per oggetto lo studio degli astri; essa comprende l'insieme delle cognizioni che si poterono acquistare intorno ai loro movimenti, le loro dimensioni e la fisica loro costituzione.

Noi ci proponiamo d'esporre gli elementi di questa scienza, insistendo in modo affatto speciale sopra quei fenomeni astronomici che presentano importanti relazioni colla nostra esistenza; ma prima d'entrare in questo studio, faremo conoscere i diversi strumenti che servirono e che servono tuttora alle osservazioni astronomiche. Questi strumenti, rozzi in origine, si perfezionarono poco per volta a norma dei progressi che faceva la scienza, e giunsero in questi ultimi tempi a un grado sommamente notevole di perfezione. La conoscenza de' mezzi d'osservazione farà meglio comprendere i differenti risultati ai quali si è giunti, permetterà di giudicare del grado di esattezza che essi comportano, e chiarirà come si possa verificare la realtà dei fatti dei quali la scienza astronomica si compone.

CAPITOLO PRIMO

DEGLI STRUMENTI CHE SERVONO ALLE OSSERVAZIONI ASTRONOMICHE

2. Gli strumenti necessarii alle osservazioni astronomiche sono di tre specie.

1.° Alcuni sono destinati ad aumentare la potenza della vista, a farci vedere gli astri in condizioni molto più favorevoli di quelle sotto le quali ci si presentano naturalmente, affine di studiare le loro forme, le apparenze, i fenomeni che avvengono alla lor superficie, e giungere, per quanto è possibile, alla cognizione della loro fisica costituzione: questi sono i *cannocchiali* e i *telescopi.*

2.° Altri sono destinati alla misura degli angoli, la cui cognizione è necessaria per determinare completamente la posizione di ciascun astro nel cielo.

3.° In fine, essendo gli astri costantemente in moto, reale ovvero apparente, non basta il saper determinare per ciaschedun istante la posizione di ciascun d'essi, mediante gli strumenti di cui si è detto, perchè si abbia una completa cognizione dei loro movimenti; ma è d' uopo ancora conoscere quanto tempo impiega ciascuno di questi astri per passare da una prima posizione a una seconda, poi da questa seconda posizione a una terza, ecc.; sono dunque necessarii degli strumenti che servono a misurare il tempo, e questi sono gli *orologi* e i *cronometri.*

Noi cominceremo dal far conoscere questi ultimi strumenti; in seguito descriveremo i cannocchiali, i telescopi e gl'istrumenti destinati alla misura degli angoli.

ISTRUMENTI CHE SERVONO A MISURARE IL TEMPO

3. **Principio della misura del tempo.** — Tutti hanno l' idea di ciò che è *tempo.* Quando due fatti si compiono l' un dopo l'altro, si dice che tra essi è scorso un certo intervallo di tempo. Quest' intervallo di tempo è più o meno lungo, e si concepisce

come la sua durata si possa esprimere mediante un numero, al pari della lunghezza d' una linea, del peso d' un corpo, ecc. Vediamo con quali mezzi si possa riuscirvi.

Supponiamo che uno stesso fenomeno si riproduca più volte nella stessa maniera e nelle medesime identiche circostanze; si potranno a buon diritto considerare come eguali gl' intervalli di tempo da esso successivamente impiegati a riprodursi. Così, se si prendono differenti corpi esattamente eguali fra di loro, poi si lasciano cadere l' un dopo l' altro dalla medesima altezza e nell' aria tranquilla, sempre nelle medesime condizioni di temperatura e d' elasticità, il tempo che l' uno di questi corpi impiegherà a cadere sarà eguale a quello che pure impiegherà a cadere ciascun altro. Se due di questi intervalli eguali di tempo si succedono senza interruzione, vale a dire, se l' istante in cui comincia il secondo coincide con quello in cui il primo finisce, ne risulterà un totale intervallo di tempo che sarà doppio di ciascuno di essi. Parimenti la successione non interrotta di tre, quattro, cinque..... intervalli di tempo fra loro eguali formerà un unico intervallo di tempo, che sarà triplo, quadruplo, quintuplo.... di uno di essi.

Da ciò si comprende che, per valutare in numeri un intervallo di tempo qualsiasi, basterà osservare un fenomeno che si riproduca successivamente, indefinitamente, senza interruzione e nelle medesime identiche circostanze. Se la durata di questo fenomeno è presa per unità di tempo, il numero delle volte che si produrrà durante l'intervallo di tempo che si vuol misurare sarà il valore numerico di questo intervallo di tempo. Tale è il principio della misura del tempo.

Per effettuare quanto si è detto, s' imaginarono diversi apparecchi che faremo conoscere, e ne' quali si cercò d'avvicinarsi, per quanto è possibile, alle condizioni rigorose che abbiamo indicato siccome base alla misura del tempo. Ma per quanta cura si porti alla costruzione di tali apparecchi, rimane sempre in essi qualche cosa della imperfezione delle opere dell' uomo. Vedremo più tardi che la più esatta misura del tempo sta nei fenomeni astronomici; ma per ora riguarderemo gli strumenti che ci facciamo a descrivere siccome i soli mezzi atti a fornire la misura del tempo, ed è dietro alle loro indicazioni che stabiliremo le basi per giungere alla cognizione delle leggi del movimento degli astri.

4. Clessidre. — I primi strumenti che servirono a misurare il tempo sono le *clessidre*, o orologi ad acqua, che furono in

uso nell'antichità, e vennero impiegati in differenti luoghi alle ricerche astronomiche. Ecco in che consistono.

Imaginiamo che un serbatojo contenga dell'acqua, e che un orifizio praticato verso la sua parte inferiore permetta al liquido di fluire: se, mediante un mezzo qualsiasi, si giunge a rendere regolare l'efflusso, usciranno dal serbatojo in tempi eguali delle eguali quantità di liquido, ed il volume dell'acqua fluita in un tempo qualunque potrà quindi servire di misura a questo tempo.

Per ottenere un efflusso regolare dell'acqua contenuta nel serbatojo, basta mantenervi un livello costante; ciò che si ottiene con molta facilità mediante la seguente disposizione. Il serbatojo A (fig. 1) è costantemente alimentato mediante un rubinetto B; la quantità d'acqua fornita da questo rubinetto è maggiore di quella che deve attraversare l'orifizio C, quando l'efflusso è regolarmente stabilito. In conseguenza di quest'eccesso di liquido che giunge nel serbatojo A, il livello tende a elevarsi sempre più; ma uno scaricatojo laterale D vi si oppone, lasciando costantemente uscire il liquido eccedente. Il livello dell'acqua conserva dunque in questo modo una posizione invariabile nel serbatojo A, e l'efflusso si effettua dall'orifizio C con una velocità che rimane sempre la stessa.

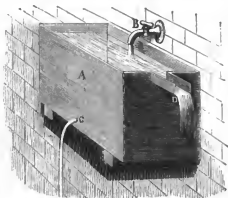



Fig. 1.

Per misurare un intervallo di tempo mediante l'efflusso così ottenuto, basta raccoglier l'acqua che esce dal serbatojo durante questo intervallo di tempo e determinarne il volume; ma in quella vece si dispone l'apparecchio in modo che dia esso medesimo delle indicazioni continue. In fatti, basta che l'acqua, uscendo dal serbatojo, cada in un vaso di forma cilindrica o prismatica, e vi si accumuli sempre più, perchè il livello dell'acqua ascenda in questo vaso con una velocità uniforme e segni il tempo colla stessa posizione che vi occuperà, posizione che

d'altronde può essere facilmente determinata mediante una scala graduata fissata al vaso.

Allo scopo di rendere più visibili le indicazioni, ed anche perchè l'apparecchio riesca più elegante, frequenti volte si colloca un galleggiante nel vaso entro cui si raccoglie l'acqua defluita; e questo galleggiante, formato da un pezzo di sughero, porta un indice che trovasi a lato di una scala graduata, e viene successivamente a corrispondere alle diverse divisioni di questa scala, a misura che il liquido lo solleva, accumulandosi sempre più nel vaso. La figura 2 rappresenta una clessidra di questa specie, e vi si vede quanto fu detto. L'acqua, il cui efflusso serve a misurare il tempo, viene raccolta in una capacità che non si vede, ed è situata verso la parte inferiore dell'apparato: essa vi fa elevare progressivamente un galleggiante, il quale sopporta le due piccole figure situate una per parte della colonna superiore; una di queste figure porta una bacchetta, la cui estremità va a terminare a una scala segnata sulla colonna, e indica il tempo sulla divisione della scala cui la bacchetta medesima corrisponde.

Fig. 2.

Un'altra disposizione, che venne egualmente adottata, aveva per oggetto di segnare il tempo mediante un indice mobile sopra un quadrante, siccome ha luogo nei nostri orologi. A questo effetto, il galleggiante A (fig. 3), al quale l'acqua della clessidra comunica un movimento ascendente, è attaccato all'estremità di una catena, che s'avvolge intorno ad un cilindro orizzontale B, e che porta all'altra estremità un contrappeso C un po' più leggero del galleggiante A. Il cilindro B può liberamente girare intorno al proprio asse; esso porta a una delle sue estremità una lancetta che lo segue in questo movimento, e che percorre così tutta la circonferenza d'un quadrante adattato

alla faccia esteriore dell' apparecchio. Quando il galleggiante A ascende, il contrappeso C discende, e la catena fa girare il cilindro B ed insieme la lancetta che vi è attaccata, la quale segna il tempo colla posizione che occupa sul quadrante.

Le clessidre sono i soli strumenti di cui siansi serviti gli antichi per misurare il tempo nelle loro ricerche astronomiche, indipendentemente dalle osservazioni degli astri medesimi. Questi strumenti, le cui indicazioni non erano suscettibili di una grande precisione, sono totalmente abbandonati ai nostri giorni.

Fig. 3.

5. **Orologi a polvere.** — L'*orologio a polvere* differisce dalla clessidra in ciò che all'acqua è sostituita della sabbia minuta. L'efflusso di questa sabbia da un orificio serve a misurare il tempo.

Un orologio a polvere si compone di due ampolline di vetro A, B, (fig. 4) della stessa forma, congiunte l'una all'altra per modo che le loro aperture si corrispondano in C. In una delle ampolline prima della loro riunione, venne introdotta della sabbia minuta, e per quanto è possibile di grossezza uniforme. Dandosi all'apparecchio la posizione indicata dalla figura, la sabbia può passare nell'altra ampollina; ed affinchè questo passaggio si effettui lentamente, si ristringe l'apertura C, per mezzo della quale le due ampolline comunicano fra di loro. Quando la sabbia sia minuta è regolare, e l'istrumento disposto simmetricamente dall'una parte e dall'altra dell'apertura C, si può ammettere che il tempo impiegato dalla sabbia a passare dall'una nell'altra ampollina sia sempre il medesimo, tanto che esca da A

Fig. 4.

per passare in B, quanto che esca al contrario da B per passare in A.

Per servirsi di un orologio a polvere, lo si pone sopra una tavola, avendo cura di mettere in alto l'ampollina che contiene la sabbia. Immediatamente la sabbia comincia a fluire nell'ampollina inferiore, e l'efflusso continua regolarissimamente fino a che l'ampollina superiore rimanga perfettamente vuota. Allora si capovolge l'istrumento, e la sabbia ricomincia a fluire nell'ampollina d'onde prima era uscita. Quando questo secondo efflusso è terminato, si capovolge di nuovo l'orologio, e così via via per tutta la durata dell'intervallo di tempo di cui si vuol avere la misura.

Si vede da ciò che l'uso dell'orologio a polvere è molto meno comodo di quello della clessidra, sopra tutto per misurare intervalli alquanto lunghi di tempo. E d'altra parte le indicazioni che desso somministra sono ancora meno precise; laonde, sebbene questo istromento fosse conosciuto dagli antichi, questi non se ne servirono per le loro osservazioni astronomiche.

Ai nostri tempi l'orologio a polvere è ancora impiegato in diverse circostanze che non esigono gran precisione. Ma, in luogo di servirsene per valutare in numeri la durata di un intervallo di tempo sconosciuto, viene adoperato al contrario per segnare la fine d'un intervallo di tempo la cui durata sia preventivamente determinata. Quest'uso limitato permette d'evitare le successive inversioni, di cui abbiamo parlato dianzi, e fa sì che l'orologio a polvere risulti di un uso molto più comodo: perciò si costruisce l'istrumento per modo che la sabbia impieghi a passare dall'una nell'altra ampollina precisamente quel tempo che l'orologio è destinato a segnare.

6. **Primi orologi a peso.** — L'invenzione degli orologi a peso, che rimonta ad un'epoca antica ma poco nota, fu un gran passo per giungere ad una misura esatta del tempo. Questi orologi, formati unicamente di pezzi solidi, i cui movimenti dipendono fra loro, sono suscettibili di presentare molto maggior costanza e regolarità nel loro andamento delle clessidre e degli orologi a polvere. Essi trovansi in condizioni molto più favorevoli, perchè i successivi movimenti che prendono i diversi pezzi di cui sono composti abbiano fra loro quel carattere d'identità che abbiamo già indicato siccome la base di qualunque misura artificiale del tempo (3).

I primi orologi a peso erano però lontani dal soddisfare a queste condizioni di regolarità nel movimento; ed ecco in che

consistono. Un peso A (fig. 5), attaccato all'estremità di una fune, tende a far girare un cilindro B su cui essa è avvolta.

Fig. 5.

Questo cilindro, mobile intorno al suo asse di figura, porta una ruota dentata C, che gira necessariamente con esso; e questa ruota, ingranando con un rocchetto D, obbliga l'asse E di questo rocchetto a girare insieme al cilindro B. Parimenti il moto dell'asse E si trasmette mediante la ruota F e il rocchetto G ad un altro asse H; e così di volta in volta un ultimo asse I riceve un movimento di rotazione in conseguenza dell'azione del peso A sul cilindro B. Quest'asse I porta alla sua estremità una ruota dentata K, di forma particolare, alla quale si dà il nome di ruota di rincontro. Allato di questa ruota K trovasi un' asta verticale L, munita di due piccole palette piane M, N, disposte ad angolo retto l'una rispetto all'altra, e per modo che la prima possa venire incontrata dai denti superiori della ruota K, e la seconda dai denti inferiori di questa ruota. Infine, l' asta L porta alla sua parte superiore una ruota senza denti O, chiamata bilancia, specie di volante analogo a quelli che si vedono in certe macchine e che servono a rendere uniforme il movimento. L' asta L insieme colle palette M, N impediscono che la ruota di rincontro K prenda un

movimento continuato in conseguenza dell'azione del peso motore A. Appena questa ruota ha cominciato a girare, i suoi denti incontrano una delle palette M, N, e trasmettono così all' asta L un movimento di rotazione; ma ben tosto i denti della medesima ruota incontrano l' altra paletta, fermano l'asta L nel suo movimento, e la fanno girare in verso opposto: poscia la prima paletta è incontrata di nuovo dai denti della ruota K, e così di seguito. In tal modo l' asta verticale L prende un movimento alternativo, e nel medesimo tempo tutto il resto del meccanismo, dal cilindro B sino alla ruota di rincontro K, è periodicamente arrestato nel suo movimento. La parte dell' apparecchio il cui movimento alternativo determina queste successive fermate dicesi *regolatore.*

Questa disposizione dei primi orologi a peso dà luogo bensì in apparenza alla riproduzione successiva e indefinita d'un medesimo fenomeno, che sembra compiersi sempre nelle medesime identiche condizioni; ma se vi si porge attenzione, si vedrà che questo fenomeno, vale a dire il movimento che prende l'asta L sia nell'uno sia nell'altro verso in conseguenza dell'azione della ruota K sopra una delle palette M, N, è lungi dall'effettuarsi con questo carattere apparente di regolarità. Il movimento del regolatore è prodotto dalla pressione che una delle palette M, N prova da parte di uno dei denti della ruota K; questa pressione è il risultato dell' azione del peso A sul cilindro B, la quale azione conserva costantemente la stessa intensità, e la sua trasmissione alla ruota K, per l' intermediario del roteggio di cui si compone l'orologio, fa sì che la pressione esercitata dai denti della ruota K sulle palette M, N non rimanga sempre la stessa. Infatti tra i denti delle diverse ruote che ingranano le une colle altre si producono degli attriti, che assorbono una porzione dell'azione del peso motore A; ed è impossibile che i diversi denti di ciascuna ruota siano tagliati con tal somiglianza di forma tra essi da non risultare dei cangiamenti nella grandezza degli attriti, a seconda del dente che serve a trasmettere il movimento. Segue da ciò che i movimenti parziali e alternativi dell'asse L e della bilancia O non si effettuino tutti colla stessa rapidità, e che per conseguenza gli intervalli di tempo compresi tra gli istanti delle successive fermate dei roteggi non siano fra loro eguali.

L'imperfezione che abbiamo notata negli orologi a peso, quali si costruivano da principio, fece sì che per lungo tempo vennero loro preferite le clessidre, siccome più esatte. Ma coll' ap-

plicazione del pendolo a questi orologi, si giunse a dar loro una tale superiorità nell'andamento che le clessidre caddero da allora completamente in disuso.

7. **Pendolo.** — Il pendolo, nella sua maggiore semplicità, consiste in un corpo pesante A (fig. 6), di piccole dimensioni, quale una palla di piombo, sospeso all'estremità inferiore di un filo sottilissimo, la cui estremità superiore B è fissa. Per l'azione della gravità, il corpo A tende naturalmente a mettersi in una posizione di equilibrio tale che il filo A B sia verticale. Se si smuove il pendolo per metterlo nella posizione indicata dalla figura 7, poi lo si abbandona a sè stesso, si metterà tosto in moto per la gravità, avvicinandosi così alla posizione di equilibrio C B, di cui abbiamo parlato da prima; ma quando l'avrà raggiunta, la sorpasserà in virtù della velocità acquistata; e si allontanerà dall'altra banda sino a che abbia preso una posizione A′ B simmetrica alla prima A B per rapporto alla verticale C B. Allora il pendolo, perduta tutta la sua velocità, si muoverà in verso contrario per l'azione continua della gravità; ripasserà per la posizione verticale C B, e se ne allontanerà dopo dall'altra banda per tornare nella sua posizione iniziale A B. Allora ricomincerà un nuovo movimento come da prima, e così di seguito. Se questo movimento oscillatorio del pendolo si effettuasse in uno spazio vuoto d'aria, e se fosse possibile evitare le resistenze che si producono sempre al suo punto di sospensione B, l'ampiezza delle oscillazioni successive rimarrebbe sempre la stessa, ed il pendolo si moverebbe indefinitamente. Ma nel fatto, le resistenze dovute all'aria nella quale si muove il pendolo, e al suo modo di sospensione, diminuiscono a poco a poco le sue oscillazioni, e in capo a qualche tempo cessano interamente.

Fig. 6. Fig. 7.

Studiando il moto del pendolo, Galileo trovò (nel 1639) le due leggi seguenti: 1.° la durata delle oscillazioni di un pendolo è sensibilmente la stessa, qualunque sia la loro ampiezza, purchè questa sia piccola; 2.° le durate delle piccole oscillazioni di diversi pendoli sono tra loro nel medesimo rapporto che le

radici quadrate delle lunghezze di quei pendoli. La cognizione di queste leggi gli suggerì l'idea di servirsi delle oscillazioni del pendolo per la misura del tempo. E infatti, basta per ciò mettere un pendolo in moto e numerare le oscillazioni che compie nell'intervallo del tempo che si vuole valutare. La diminuzione progressiva dell' ampiezza delle sue oscillazioni non impedisce che la loro durata rimanga la stessa, come risulta dalla prima delle leggi enunciate; epperò il moto del pendolo attua la successione non interrotta dei fenomeni aventi tutti la stessa durata, ciò che si accorda pienamente coll'idea generale che ci siam fatta sulla misura artificiale del tempo (3). D'altra parte, la seconda delle leggi trovate dal Galileo mostra che si può dare al pendolo tal lunghezza che la durata di ciascuna delle sue piccole oscillazioni eguagli precisamente l'unità di tempo che si vuol adottare.

Galileo, e alcuni astronomi dopo di lui, usarono infatti del pendolo siccome mezzo per misurare il tempo nelle loro osservazioni astronomiche. Ma l'uso di questo istrumento, tanto semplice in sè stesso, presentava delle difficoltà, a cagione della necessità di seguire tutti i suoi movimenti per contare le oscillazioni, ed altresì a cagione del breve tempo in capo al quale il pendolo, abbandonato a sè stesso, cessa dal compiere valutabili oscillazioni.

Poco tempo dopo, nel 1657, Huyghens ebbe la felice idea di costruire un orologio, adattando il pendolo di Galileo agli antichi orologi a peso. D' allora le indicazioni fornite dagli orologi divennero incomparabilmente più esatte di prima, ciò che fece fare un immenso passo all'astronomia d'osservazione.

8. **Orologi a pendolo ed a peso.** — Negli orologi a peso, di cui abbiamo parlato antecedentemente (6), il peso motore induceva un movimento di rotazione in una serie di assi orizzontali comunicanti tra loro mediante ruote dentate; e questo movimento complessivo veniva arrestato ad ogni istante dall'azione delle palette fissate all' asta della bilancia sopra i denti della ruota di rincontro. Gl' intervalli di tempo compresi tra gli istanti delle successive fermate prodotte in questa maniera non erano perfettamente della medesima durata, siccome abbiamo già spiegato. Per ovviare a questo inconveniente, Huyghens al regolatore o bilancia, i cui movimenti alternativi risultavano unicamente dall' azione del peso motore, sostituì un pendolo, le cui oscillazioni dovevano effettuarsi indipendentemente da quest' azione, e dispose la macchina per modo che il movi-

mento dei roteggi venisse arrestato a ciascuna di quelle oscillazioni.

Diverse disposizioni vennero successivamente imaginate per stabilire il legame tra il roteggio ed il pendolo. Dicesi *scappamento* quella parte di meccanismo il cui oggetto è di stabilire un tal legame, per l'intermediario del quale il pendolo arresta periodicamente il moto prodotto dal peso motore. Noi ci accontenteremo di descrivere lo scappamento ad àncora, uno di quelli maggiormente usati oggidì, e che meglio conseguono lo scopo cui sono destinati.

Questo scappamento è qui rappresentato dalla figura 8. Un pezzo A B C, in forma d'àncora, è sospeso ad un asse orizzontale D, e può girare liberamente intorno a quest'asse. L'àncora riceve dal pendolo un movimento oscillatorio attorno al suo asse di sospensione. Tra le sue due branche A e C si trova una ruota E, la quale è fissata all'ultimo albero del meccanismo dell'orologio. Questa ruota E, a cui il motore tende costantemente a dare un movimento di rotazione, è sostituita alla ruota di rincontro K della figura 5 (pag. 8). Durante il movimento d'oscillazione dell'àncora, i denti di questa ruota vengono successivamente ad appoggiarsi sulla faccia inferiore della branca A, e sulla faccia superiore della branca C. Queste due facce sono d'altronde tagliate secondo archi di cerchio concentrici coll'asse D, per modo che durante il tempo che un dente della ruota E è arrestato da una delle

Fig. 8.

branche dell'áncora, questo dente e per conseguenza la ruota rimangono completamente immobili.

Le due branche A e C dell'áncora presentano, dalla banda della ruota, due parti *m n*, *p q*, inclinate in senso contrario, sulle quali i denti della ruota devono scorrere prima di sfuggire. All'istante in cui un dente vi scorre, esso esercita sull'áncora una pressione che tende ad aumentare la sua velocità, e l'áncora da parte sua reagisce sul pendolo per conservarne il movimento. Senza la presenza di questi due piccoli piani inclinati, l'ampiezza delle oscillazioni del pendolo decrescerebbe progressivamente, così per le resistenze prodotte dall'aria e dal modo di sospensione del pendolo, come anche per quelle che derivano dall'attrito della ruota di scappamento sulle facce dell'áncora: dopo breve tempo queste resistenze renderebbero tanto piccole le oscillazioni del pendolo che i denti della ruota non sfuggirebbero più, e il movimento dell'orologio cesserebbe.

La figura 9 fa vedere per qual maniera l'áncora trovasi in comunicazione col pendolo. L'asse orizzontale D, cui essa è fissata, porta ad un estremo un'asta F, la quale inferiormente finisce in una forcella orizzontale G. Il pendolo, cui al filo di sospensione è sostituita una verga di metallo, è disposto per modo che questa verga passa tra i due bracci della forcella, così che il pendolo non può oscillare senza che nel medesimo tempo anche l'áncora oscilli.

Fig. 9.

Si comprende facilmente il gran vantaggio della sostituzione del pendolo alla bilancia dei primi orologi a peso. In questo l'azione del peso motore, irregolarmente modificata dagli attriti prodotti nei rotéggi, esercita una debole influenza sul moto oscillatorio che determina le successive fermate del meccanismo: questa influenza non si fa sentire che nell'attrito dei denti della ruota di scappamento sulle facce dell'áncora, attrito che si può rendere quasi nullo, e negli impulsi che l'áncora riceve dai denti all'istante in cui questi sfuggono. Da ciò derivano bensì leggere variazioni nell'ampiezza delle oscillazioni del pendolo; ma la durata di queste oscillazioni non è sensibilmente alterata per la preziosa proprietà del pendolo scoperta da Galileo.

9. Si cerca naturalmente di disporre il pendolo in modo che scemi, per quanto è possibile, la resistenza prodotta dall'aria nella quale si muove, non che la resistenza che risulta dal suo modo di sospensione.

Per diminuire la resistenza che proviene dall'aria atmosferica, d'ordinario al corpo molto pesante che termina inferiormente il pendolo si dà la forma di una lente, le cui maggiori dimensioni sono dirette nel piano del movimento oscillatorio del pendolo. Mediante questa disposizione, il pendolo non presenta che poca superficie all'aria, e la lente incontrandola col suo lembo, ne svia le molecole senza grande difficoltà.

Quanto al modo di sospensione del pendolo, dev'essere tale che il movimento oscillatorio possa effettuarsi senza attrito tra le parti mobili e le parti lisse dell'apparecchio. Per giungere a questo scopo si adottano due diverse disposizioni.

Nella sospensione a coltello (fig. 10), l'asta del pendolo porta alla sua parte superiore un pezzo d'acciajo sporgente da una parte e dall'altra, e terminante al basso in uno spigolo sottile ma non tagliente; questa specie di coltello posa per il suo spigolo al fondo di un solco praticato sulla faccia superiore di un sostegno liscio, formato d'una materia durissima, come l'acciajo o l'agata. Il pendolo, oscillando, ruota attorno allo spigolo del coltello di sospensione come intorno ad un asse, e non ne deriva sensibile sfregamento.

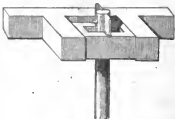



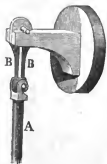
Fig. 10.

Nella sospensione a molla (fig. 11), l'asta A del pendolo è uncinata alla parte inferiore di un pezzo B B, formato essenzialmente di due lame sottili d'acciajo, le cui estremità superiori sono fortemente serrate tra le mascelle di una morsa fissa. Il pendolo non può oscillare che obbligando queste lame d'acciajo a piegare ora da un lato ora dall'altro. È evidente che in questo modo non può darsi attrito risultante dalle oscillazioni del pendolo; ma nasce il dubbio che la rigidezza delle molle di sospensione non produca lo stesso effetto degli

Fig. 11.

attriti opponendosi al movimento del pendolo. Riflettendovi si riconosce che questo non avviene, cioè che la rigidezza delle molle non è tale da scemare progressivamente l'ampiezza delle oscillazioni, in modo da farle cessare interamente in capo a qualche tempo. Si vede infatti che, se da una parte la rigidezza delle molle tende a diminuire la velocità del pendolo, mentre si allontana dalla verticale, d'altra parte la loro elasticità tende ad accelerare il suo movimento quando vi si avvicina, per modo da risultare una tale compensazione che, quando il pendolo ripassa per la posizione verticale, ha precisamente la stessa velocità come se le molle di sospensione non avessero avuto alcuna influenza sulla sua direzione dopo l'ultimo suo passaggio per questa posizione. È però bene osservare che l'azione delle molle di sospensione modifica alquanto la durata delle oscillazioni. I signori Laugier e Winnerl hanno pure non ha guari riconosciuto che si poteva approfittare di questa circostanza per togliere le piccole differenze che esistono ancora tra le durate delle oscillazioni di un pendolo, quando l' ampiezza delle sue oscillazioni varia da zero a cinque gradi: combinando convenientemente la forza delle molle col peso della lente, si può ottenere che per tutta questa estensione le durate delle oscillazioni non abbiano che differenze di poco momento.

10. I cangiamenti di temperatura, producendo delle variazioni nelle dimensioni di un pendolo, determinano necessariamente variazioni corrispondenti nella durata delle sue oscillazioni, come appunto risulta dalla seconda delle leggi trovate da Galileo. Si giunge per altro a costruire un pendolo non soggetto a queste variazioni componendolo di più parti formate di differenti materie, le cui dilatazioni vengono a contrariarsi in guisa che, malgrado l' elevazione o l' abbassamento della temperatura, la durata delle sue oscillazioni rimanga costantemente la stessa. Un pendolo costruito per modo da soddisfare a questa condizione dicesi pendolo *compensatore.* Se ne sono immaginati parecchi, ma noi ci limiteremo a far conoscere i due principali.

Il pendolo compensatore a telajo è rappresentato dalla fig. 12. La lente L è sospesa a una traversa di ottone *a a,* fissata alle estremità inferiori di due aste di ferro *b, b*; queste due aste sono esse pure sospese a una seconda traversa di ottone *c c,* che si appoggia alle estremità superiori di due aste di zinco *d, d,* le quali alla loro volta sono portate al basso da una terza traversa *e e,* fissata alla parte inferiore dell' asta centrale *f g;* in fine quest'asta centrale, che si prolunga in alto fino al punto di sospen-

sione del pendolo, si compone di un tubo di ottone *f* e di una verga di ferro *g*, la quale penetra nel tubo e vi è fissata mediante la caviglia *h*. Elevandosi la temperatura, l'asta di ferro *g* e il tubo *f* si allungano, e la traversa *e e* s'allontana quindi dal punto di sospensione del pendolo. Se le aste di zinco *d*, *d* non cangiassero le dimensioni, la traversa *c c* seguirebbe la precedente e, come questa, si allontanerebbe dal punto di sospensione scorrendo lungo l'asta *g*. La dilatazione che provano nel medesimo tempo le aste di ferro *b*, *b* obbliga la traversa *a a* ad allontanarsi da *c c*; e per questi allungamenti delle aste *g*, *b*, *b*, e del tubo di ottone *f*, la lente L s'abbasserebbe conseguentemente al di sotto della posizione che occupava precedentemente. Ma le aste di zinco *d*, *d*, in luogo di conservare le stesse dimensioni, si dilatano come le altre aste, anzi si dilatano più ancora di queste, sino a sollevare il rettangolo costituito dalle traverse *a a*, *c c*, e dalle aste di ferro *b*, *b*, per modo che la lente L, che è portata da questo rettangolo, rimanga alla stessa distanza dal punto di sospensione del pendolo, malgrado il cangiamento di temperatura. Fin qui non si scorge a che possa servire il tubo di ottone *f*; si avrebbe potuto infatti sopppimerlo, e prolungare l'asta di ferro *g* fino alla traversa *e e*, alla quale verrebbe fissata. Ma questo tubo venne adattato all'apparecchio di sospensione della lente per poter rendere la compensazione del pendolo il più possibile esatta dopo la sua costruzione. Infatti, per quanta cura si abbia nel determinare *a priori* le lunghezze da darsi alle diverse aste metalliche, perchè la dilatazione delle aste di zinco compensi esattamente quelle delle altre aste, è raro che le oscillazioni del pendolo non provino ancora qualche leggiera modificazione nella loro durata per l'effetto dei cangiamenti di

Fig. 12.

temperatura. Basta allora spostare la caviglia *h*, mettendola in un altro dei fori che trovansi praticati per un certo tratto tanto nel tubo *f* che nella verga *g*. La parte del tubo *f* situata al di sotto di questa caviglia e quella della verga *g* situata al di sopra essendo evidentemente le sole porzioni di questi pezzi le cui dilatazioni influiscono sulla posizione della lente, si sostituisce per tal modo una certa lunghezza di ottone ad egual lunghezza di ferro, o inversamente; e siccome questi due metalli non si dilatano egualmente, si può arrivare per via di tentativi a rendere esattissima la compensazione del pendolo.

La figura 13 rappresenta il pendolo compensatore a mercurio. La verga di ferro *a* porta alla sua parte inferiore due vasi cilindrici di vetro *b*, *b*, in cui trovasi del mercurio, il quale, per la sua gran massa, tien luogo della lente, e per la sua grande dilatabilità produce la compensazione. Quando la temperatura si eleva, la verga *a* s'allunga, e i vasi *b*, *b* si allontanano dal punto di sospensione del pendolo; ma in pari tempo il mercurio si dilata, e la sua superficie si solleva tanto in questi vasi da compensare l'abbassamento che deriva dalla dilatazione della verga *a*.

Fig. 13.

L'esattezza della misura del tempo essendo assolutamente indispensabile per le osservazioni astronomiche, non basta servirsi di orologi in cui il pendolo venga tolto all'influenza della temperatura con que' mezzi che abbiamo indicati, ma fa d'uopo collocare tali orologi in luoghi opportuni e disporli così che la temperatura vi sia soggetta alle minori possibili variazioni.

11. Le figure 14 e 15 mostrano la disposizione generale di un orologio a pendolo e a peso. Il peso motore A agisce all'estremità di una corda che s'accavalca sul cilindro B; esso tende a far girare questo cilindro e quindi la ruota C; questa ruota imbocca in un rocchetto D, il cui asse porta una seconda ruota E; il rocchetto F imbocca nella ruota E, e sul suo asse è fissata una terza ruota G; questa terza ruota imbocca alla sua volta nel rocchetto H, sul cui asse trovasi una quarta ruota K, la quale infine imbocca nel rocchetto L, il cui asse porta la ruota di scappamento M. L'àncora N N, mobile intorno all'asse O, abbraccia la parte superiore della ruota M. L'asse O (fig. 15) porta un'asta S che termina inferiormente con una forcella T; la verga U U del

pendolo, di cui V è la lente, passa tra i bracci della forcella T ed è sospesa per le due molle X, X, che si piegano in un senso o nell'altro a norma delle sue oscillazioni.

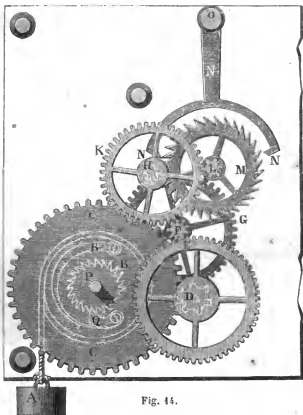



Fig. 14.

L'unità principale di tempo, cui si riferisce la misura di un intervallo di tempo qualunque, è il *giorno*, del quale daremo più tardi la definizione precisa. Il giorno si divide in 24 ore, l'ora in 60 minuti, e il minuto in 60 secondi. Gli orologi astronomici segnano le ore, i minuti e i secondi per mezzo di tre lancette, che si muovono sulla medesima mostra; per modo che, alla sola ispezione di questa mostra, si possa vedere immediatamente quante ore, minuti e secondi sono passati dall'istante

donde si comincia a contare il tempo. Perciò si dà al pendolo

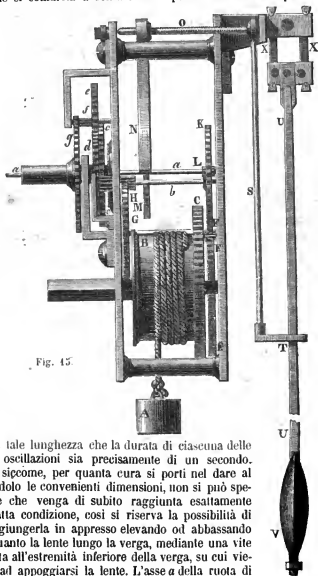



Fig. 15.

una tale lunghezza che la durata di ciascuna delle sue oscillazioni sia precisamente di un secondo. Ma siccome, per quanta cura si porti nel dare al pendolo le convenienti dimensioni, non si può sperare che venga di subito raggiunta esattamente siffatta condizione, così si riserva la possibilità di raggiungerla in appresso elevando od abbassando alquanto la lente lungo la verga, mediante una vite posta all'estremità inferiore della verga, su cui viene ad appoggiarsi la lente. L'asse *a* della ruota di

scappamento (fig. 15) attraversa il centro della mostra, che qui non è rappresentata, e porta alla sua estremità la lancetta dei secondi. La ruota di scappamento è munita di 30 denti; e siccome occorrono due oscillazioni del pendolo perchè un dente venga a occupare il posto del precedente, ne segue che la lancetta dei secondi compie un intero giro della mostra in 60 secondi, o in un minuto. Il rocchetto H, portato dall'asse *b* della ruota K, si prolunga a sinistra della figura; e il prolungamento imbocca in una ruota *c* fissata a un cilindro cavo detto *calza*, che involge l'asse *a* della lancetta dei secondi e porta la lancetta dei minuti. Sovrapposta alla ruota *c* e concentrica alla medesima vi ha un'altra ruota *d*, che imbocca in una ruota *e*, l'asse della quale porta un rocchetto *f*, che imbocca nella ruota *g* detta *cannona;* e questa in fine è fissata a un secondo cilindro cavo, che involge la calza e porta la lancetta delle ore (*).

(*) Mentre la lancetta dei secondi compie un giro in 60 secondi, ovvero in un minuto, quella dei minuti deve compiere invece un giro in 60 minuti ovvero in un'ora; e quella delle ore in dodici ore e talvolta anche in 24 ore, per modo che la lancetta dei minuti deve compiere un giro nel tempo che quella dei secondi ne compie sessanta, e quella delle ore deve compiere un giro nel tempo che quella dei minuti ne compie dodici ovvero ventiquattro. Queste differenti velocità delle tre lancette vengono raggiunte col fornire le ruote K, *c*, *d*, *e*, *g*, e i rocchetti L, H, *f*, di un opportuno numero di denti e di ale. Si può per altro arrivare alla soluzione di questo problema in un numero illimitato di maniere, vale a dire con indefinite combinazioni nel numero di quei denti e di quelle ale. Per formarsene un'idea supponiamo che il rocchetto L sia fornito di 6 ale e la ruota K di 60 denti; mentre il rocchetto L e quindi la lancetta dei secondi compie 10 giri, la ruota K ne compirà uno solo: se poi anche il rocchetto H è fornito di 6 ale e la ruota *c* di 36 denti, la ruota *c* e quindi la lancetta dei minuti compirà un giro mentre il rocchetto H e quindi la ruota K ne fanno 6; epperò la lancetta dei minuti farà un giro, mentre la lancetta dei secondi ne fa 60. Istessamente, supposto che le ruote *d*, *e*, abbiano un egual numero di denti, esse faranno nello stesso tempo un egual numero di giri; e se poi il rocchetto *f* è fornito di 5 ale e la ruota *g* di 60 denti, mentre la ruota *g* compie un giro, il rocchetto *f* ne compirà 12, e quindi a 12 giri della lancetta dei minuti corrisponderà un giro della lancetta delle ore.

È veramente negli orologi astronomici che conviene che la lancetta delle ore compia un giro ogni 24 giri della lancetta dei minuti. In tal caso è bene sostituire alla lancetta delle ore un'intiera ruota, applicata al cilindro della ruota cannona e che si muove dietro alla mostra: sulla sua periferia sono segnate le 24 ore, che vengono successivamente a passare dietro un foro praticato sulla mostra medesima. Per raggiungere poi questo

Quando il peso motore discendendo ha fatto svolgere tutta la corda che era avvolta sul cilindro B, non può più continuare ad agire, a meno che non si ravvolga di nuovo la corda intorno al detto cilindro, facendo risalire il peso. Per questo si fa girare il cilindro B nel verso opportuno per mezzo di una chiave avente un foro quadrato, che s'impianta nel prolungamento a base quadrata dell'asse di questo cilindro. Tutto il roteggio sarebbe trascinato in questo movimento retrogrado del cilindro B se fosse invariabilmente fisso alla ruota C; ma per evitare che ciò avvenga, si adottò una disposizione particolare, che si vede nella fig. 14. Una ruota dentata a sega P è fissata all'asse del cilindro B, e in qualunque verso questo si muova, gira necessariamente insieme con esso. Un nottolino Q imbocca nei denti della ruota P, e una molla R lo mantiene costantemente appoggiato sulla ruota. La molla e il nottolino sono attaccati alla ruota dentata C. Quando il cilindro B gira sotto l'azione del peso motore A, fa girare la ruota C per l'intermediario della ruota dentata P e del nottolino; ma quando, per far risalire il peso, si fa girare il cilindro in verso contrario, i denti della ruota P passano successivamente sotto il nottolino, e la ruota C non gira.

Per l'indicato modo di unione tra il cilindro B e la ruota C si può far risalire il peso motore, o, come si dice, ricaricare l'orologio senza che le lancette assumano un movimento retrogrado; ma per tutto il tempo necessario a tale operazione esse rimangono stazionarie, nè ripigliano il movimento se non quando l'orologio medesimo è ricaricato; laonde risulta nelle indicazioni dell'orologio una interruzione che avrebbe dei gravi inconvenienti per le osservazioni astronomiche: si cercò pertanto di toglierla, vale a dire di fare in modo che l'orologio continui nel suo movimento anche nel tempo che lo si ricarica. La fig. 16 mostra una fra le più semplici disposizioni imaginate a questo scopo.

Due carrucole mobili A e B sono sostenute da una corda continua, che entra nella gola di due altre carrucole fisse C e D. Due pesi P, p sono attaccati per uncini alle due carrucole mobili,

rapporto nella velocità delle due lancette basterebbe che la ruota g avesse 120 denti, ed il rocchetto f 5 ale, siccome fu detto antecedentemente.

È anche bene di avvertire che, a fine di diminuire per quanto è possibile gli sfregamenti che nascono tra i denti delle ruote e le ale dei rocchetti, le superficie sì degli uni come delle altre sono incurvate per modo che la sezione fatta ad uno di essi mediante un piano ad esso normale e perpendicolare all'asse della ruota o del rocchetto presenta quella curva che dai geometri è denominata *cicloide*. (*Il Tr.*)

ed il maggiore dei due, P, tende a trascinare la corda; ma siccome le gole delle carrucole C e D sono disposte in modo che le corde da cui sono abbracciate non possono scorrervi, queste due carrucole fisse tendono a girare sotto l'azione del peso P. La carrucola C porta lateralmente una ruota dentata a sega, nei denti della quale imbocca un nottolino E, continuamente compresso contro la ruota dalla molla F; e atteso il verso secondo cui sono rivolti i denti della ruota, la carrucola C non può cedere all'azione del peso P. Quanto alla carrucola D, essa fa le veci del cilindro B delle fig. 14 e 15, ed è fissata alla prima delle ruote dentate che costituiscono il meccanismo dell'orologio; l'azione del peso P fa girare questa carrucola, ciò che determina il movimento di tutto il roteggio. Il peso *p*, destinato a tendere sufficientemente la corda perchè non iscorra nelle gole delle due carrucole C e D, sale intanto che l'altro discende. Per ricaricare l'orologio, basta tirare dall'alto in basso la corda che va dalla carrucola C alla carrucola B; questa corda fa girare la carrucola C, senza che il nottolino E vi si opponga, e il peso P è fatto risalire senza che cessi di agire sulla corda che va dalla carrucola D a quella A; per cui la carrucola D, sempre soggetta all'azione del peso motore, anche mentre questo risale, fa girare e ruote e lancette senza alcuna interruzione.

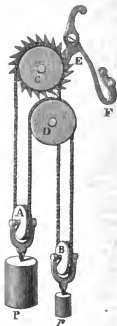



Fig. 16.

12. Orologi da tasca e cronometri. — Perchè possa aver luogo il movimento in un orologio a pendolo ed a peso è indispensabile che sia stabilmente posto in un luogo determinato; una simile macchina non può essere rimossa dal suo posto senza cessare dall'agire. Questa condizione d'inamovibilità dell'orologio deriva per una parte dal peso motore, per l'altra dal regolatore a pendolo. Per costruire orologi da tasca si dovettero impiegare un regolatore ed un motore che non esigessero la invariabilità della posizione dell'apparecchio.

Il motore, che venne sostituito al peso, è una molla formata da una lamina di acciaio sottile e lunga, lavorata in guisa da avvol-

gersi da sè medesima a spirale, siccome lo mostra la fig. 17. Supponiamo che l'estremità esterna della molla sia attaccata a

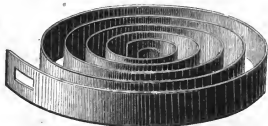



Fig. 17.

un punto fisso, e che l'altra estremità sia unita ad un asse suscettibile di ruotare intorno a sè stesso; facendo ruotare quest'asse nel verso opportuno, esso trarrà seco l'estremità interna della molla, le spire si stringeranno sempre più intorno ad esso, e la molla assumerà la forma indicata dalla fig. 18. Se poi in ap-

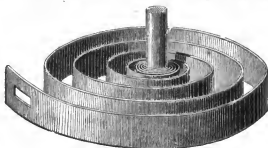



Fig. 18.

presso si abbandona l'asse a sè medesimo, la molla, tendendo a riprendere la sua forma primitiva, gl'imprimerà un moto di rotazione, ed è questo moto che si trasmette al meccanismo dell'orologio. È chiaro che, dopo aver teso la molla, la sua estremità interna può rendersi fissa, e che, se l'estremità esterna è attaccata a un pezzo che possa ruotare intorno all'asse della molla, essa comunicherà un moto di rotazione a questo pezzo.

Quanto al regolatore, venne da prima adottato quel medesimo di cui già servivasi nei primi orologi a peso (6). Questo regolatore a bilancia e a palette funziona in fatti egualmente, qualunque posizione diasi alla macchina intiera.

13. La figura 19 fa vedere la disposizione generale d'un orologio da tasca: essa venne fatta allontanando in altezza le ruote

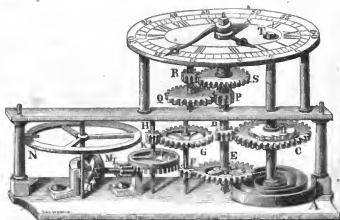



Fig. 19.

le une dalle altre, e disponendo i loro assi sul medesimo piano affine di far vedere più nettamente tutti i particolari di questa disposizione.

La molla A, la cui estremità esterna è fissa, tende a far ruotare l'asse, cui è attaccata la sua estremità interna. Quest'asse porta una ruota dentata a sega B, che agisce sulla ruota dentata C per l'intermediario del nottolino *o*. La ruota C fa girare il rocchetto D e quindi la ruota E, e questa alla sua volta fa girare il rocchetto F e la ruota G. La ruota G poi comunica il suo movimento al rocchetto H, e l'asse di questo rocchetto fa girare la ruota M per l'intermediario della ruota K e del rocchetto L, che fanno le veci di ruote d'angolo. Avanti alla ruota M passa l'asse del regolatore a palette e a bilancia. Le palette *i*, *i'* di questo regolatore, incontrate successivamente l'una dopo l'altra dai diversi denti della ruota M, fanno prendere alla bilancia N un moto alternativo di rotazione, e ne risultano delle fermate successive nel moto del roteggio, come fu già spiegato precedentemente (6) pei primi orologi a peso.

La lancetta dei minuti è fissa all'estremità dell'asse della ruota E, che si prolunga ed attraversa la mostra nel suo centro. Bisogna dunque che la molla motrice ed il regolatore siano disposti per modo che quest'asse compia un intero giro in un'ora. Quest'asse medesimo poi porta un rocchetto P che imbocca in una ruota Q;

e l'asse della ruota Q porta un rocchetto R che imbocca nella ruota cannona S. Quest'ultima è fissata ad un cilindro, nel quale passa liberamente l'asse della lancetta dei minuti, ed alla cui estremità trovasi adattata la lancetta delle ore (*).

La molla A, che mette in moto tutto il meccanismo, non può agire indefinitamente; quando ha perduta la sua tensione, è necessario tenderla di nuovo perchè il movimento possa continuare, il che si chiama ricaricare l'orologio. Perciò s'impianta una chiave all'estremità quadrata T dell'asse, a cui la molla è internamente attaccata, e si fa girare quest'asse in verso contrario a quello secondo il quale l'azione della molla lo fa comunemente girare. Se la ruota C fosse fissata a quest'asse, girerebbe con esso mentre si tenderebbe la molla, e trarrebbe seco necessariamente in questo movimento retrogrado tutto il meccanismo, compresevi le lancette. Perchè ciò non avvenga, si ricorre al mezzo già indicato per gli orologi a peso; si fa agire cioè l'asse della molla motrice sulla ruota C, per l'intermediario d'una ruota dentata a sega B e di un nottolino *o*, su cui continuamente s'appoggia una piccola molla di pressione. Per tal guisa la ruota C non è trascinata dall'asse se non quando questo cede all'azione della molla motrice, ed allorchè si fa girare quest'asse in verso contrario per ricaricare la molla, essa non trascina che la ruota dentata B, i cui denti passano successivamente sotto il nottolino *o*.

14. Un orologio costruito nel modo indicato era ben lungi dall'avere un andamento anche solo paragonabile a quello dei primi orologi a peso. Infatti la sola differenza che presenta un tale orologio rispetto a questi consiste in ciò, che il motore è una molla invece d'un peso. Ora se il peso, la cui azione è costante, non poteva fornire un movimento regolare, a cagione delle modificazioni più o meno grandi che questa azione provava da parte del roteggio prima di venir trasmessa al regolatore, a maggior ragione una molla, la cui azione diminuisce costantemente a misura che va perdendo la sua tensione, non può produrre un andamento tanto regolare quanto è necessario per ottenere

(*) Come si è veduto per un orologio a pendolo, il numero delle ale dei rocchetti P e R ed il numero dei denti delle ruote Q ed S debbono essere così combinati che, nel tempo che la lancetta delle ore compie un giro, quella dei minuti ne compia 12. La qual cosa si ottiene fornendo per es. il rocchetto P di 8 ale e la ruota Q di 24 denti, il rocchetto R di 8 ale e la ruota S di 32 denti: mentre la lancetta dei minuti fa tre giri, la ruota Q ne fa uno, e mentre la ruota Q fa 4 giri, la ruota S ne fa uno; effettivamente dunque mentre la lancetta dei minuti fa dodici giri, la ruota S, e quindi anche la lancetta delle ore, ne fa uno. (*Il Tr.*)

un'esatta misura del tempo. Si è cercato pertanto di perfezionare questi orologi, non solo sotto il rapporto del regolatore siccome per quelli a peso, ma altresì sotto il rapporto del motore.

Per togliere l'inconveniente risultante da ciò che l'azione della molla motrice non è costante, venne imaginato di farla agire sul roteggio per l'intermediario d'una *piramide*. A quest'effetto si racchiude la molla entro un tamburo A (fig. 20), alla cui su-

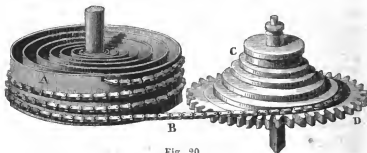



Fig. 20.

perficie è fissata l'estremità d'una catena articolata B, la quale, dopo aver fatto un certo numero di giri sopra questa superficie, viene ad avvolgersi sopra una specie di tamburo conico C, e vi resta fissata colla sua seconda estremità. Questo tamburo è chiamato *piramide*, e presenta una scanalatura in forma di elice, sulla quale vengono a disporsi i successivi giri della catena. Quando la molla è completamente tesa, la catena è avvolta su tutta la superficie della piramide; se ne distacca dalla parte della base minore, e viene a terminare sulla superficie del tamburo, che non tocca fuor che per un piccolo tratto. La molla ha la sua estremità interna fissa e la sua estremità esterna attaccata alla circonferenza del tamburo: nel perdere la tensione, essa fa girare il tamburo, e comunica il moto nel medesimo verso alla piramide per l'intermediario della catena. Questa si svolge dalla piramide e s'avvolge al tamburo, e il movimento non cessa se non quando è interamente svolta dalla piramide, per modo che veggasi distaccarsi dalla parte della base maggiore. È chiaro che, durante tutto questo movimento, la tensione della catena, che è prodotta dalla forza della molla, va continuamente scemando; ma questa tensione agisce anche sulla piramide mediante un braccio di leva sempre più grande; e si comprende come siasi determinata la forma della piramide per modo da ottenere un'esatta compensazione, vale a dire tale che l'azione della catena produca lo

stesso effetto di una forza costante applicata all'estremità d' un braccio di leva invariabile. Il moto di rotazione che prende la piramide sotto l'azione della catena si trasmette a tutto il meccanismo per l'intermediario della ruota D, che la piramide trae seco girando.

Quando la molla ha interamente perduta la sua tensione, la si tende di nuovo facendo ruotare la piramide in verso opposto a quello secondo il quale la molla la fa comunemente ruotare. In tal guisa la catena, che era stata trascinata ad avvolgersi totalmente intorno al tamburo per l'azione della molla, si ravvolge di nuovo sulla piramide; e nello stesso tempo il tamburo ruota sotto l'azione della catena, e trae seco l'estremità esterna della molla, la quale per tal modo si ristringe sempre più intorno al proprio asse. Perchè il moto retrogrado impresso alla piramide nel ricaricare l'orologio non venga trasmesso a tutto il roteggio, vi si adatta una ruota dentata a sega, mediante la quale essa agisce sulla prima delle ruote dell'orologio, così come venne già due volte spiegato a proposito delle fig. 14 e 19.

Negli orologi di grande precisione, il cui andamento dev' essere per lungo tempo esattissimo e senza interruzione, riesce importante che l' operazione del ricaricarli non impedisca alle ruote di continuare nel lor moto. Ecco come ciò si ottiene. La ruota dentata a sega A (fig. 21), che fa corpo colla piramide, in luogo di agire direttamente sulla prima ruota del roteggio, agisce su questa ruota per l'intermediario d'una seconda ruota dentata a sega B, i cui denti sono rivolti in verso contrario. Quando la molla motrice tende la catena e fa ruotare la piramide, la ruota dentata A, che ne dipende, ruota nel verso della freccia f; mediante il nottolino m questa ruota fa girare nel medesimo verso la ruota B, i cui denti passano così successivamente sotto il nottolino n, non essendo per nulla impediti da esso. Una molla $a\ b\ c$ è fissa da una parte a alla ruota B, e dall'altra parte c alla ruota C. La ruota B, messa in movimento come fu detto, trae seco l'estremità a di questa molla; essa si tende, e alla sua volta trae seco la ruota C e la fa girare nel medesimo verso. Quando si fa girare la piramide

Fig. 21.

e per conseguenza la ruota A nel verso della freccia f', per ricaricare l'orologio, la ruota B non può seguirla a cagione del nottolino *n* che ne la impedisce; non potendo retrocedere l'estremità *a* della molla *a b c*, la tensione di questa molla continua a tirare il punto *c* della ruota C nel verso della freccia *f*, e non cessa il movimento dell'orologio. Questa molla può pertanto conservare da sola il moto del roteggio e delle lancette per un tempo sufficiente a ricaricare l'orologio per intero; e quando poi la molla motrice riprende la sua azione, essa restituisce alla molla *a b c* la tensione da questa perduta nel ricaricare l'orologio.

15. L'applicazione d'una catena e d'una piramide, siccome intermediarii tra la molla motrice e le ruote d'un orologio, portò questa macchina al livello dei primi orologi a peso, rendendo costante l'azione del motore. Ma il difetto del regolatore vi si faceva ancora sentire non meno che in questi orologi. Avevano dunque bisogno d'esser modificati sotto questo rapporto, e la regolarità del loro andamento non potevasi ottenere se non arrecandovi un perfezionamento analogo a quello che negli orologi a peso era risultato dalla sostituzione del pendolo al regolatore a palette e a bilancia. Ed ecco come vi si giunse.

Il difetto capitale del regolatore a palette e a bilancia sta in ciò, che il suo movimento è unicamente prodotto dall'azione successiva che prova da parte dei denti della ruota di rincontro, siccome abbiamo precedentemente spiegato (6). Si dovette quindi cercare di sostituirvi un regolatore il quale, compatibilmente colla mobilità dell'orologio, fosse di tal natura da oscillare da sè stesso, senza avere perciò bisogno dell'azione del motore. Ciò raggiunse Huyghens imaginando la bilancia a molla spirale, specie di regolatore esclusivamente usato negli orologi portatili, siccome è il pendolo negli orologi fissi. Questa bilancia altra cosa non è che quella di cui fin ora abbiam parlato, munita d'una molla destinata a dargli un movimento d'oscillazione. Questa molla, chiamata semplicemente la *spirale*, ha la medesima forma della molla motrice precedentemente descritta e rappresentata dalla fig. 17; ma è assai più delicata, ed ha per conseguenza molto minor forza. La sua estremità interna è attaccata all'asse della bilancia, siccome lo mostra la figura 22, e l'altra estremità è

Fig. 22.

fissa alla cartella inferiore dell'orologio mediante un pezzo d'ottone detto *nasetto*. La spirale assume naturalmente una certa forma d'equilibrio. Quando si fa ruotare la bilancia intorno al suo asse, sia in un verso sia nell'altro, la spirale trovasi tolta a questa forma; in virtù della sua elasticità, essa tende a riprendere la figura che aveva precedentemente, e riconduce la bilancia verso la sua primitiva posizione. Ma all'istante in cui la spirale ha raggiunto esattamente la figura d'equilibrio, la bilancia trovasi animata da una velocità per la quale continua a ruotare nel medesimo verso; la spirale la perde quindi di nuovo, ma in verso contrario, ed oppone alla bilancia una resistenza sempre crescente, che finisce ben presto per ridurla alla quiete. Allora la spirale, continuando ad agire sulla bilancia, la riconduce di nuovo alla sua primitiva posizione, questa la sorpassa di nuovo, e così di seguito. La bilancia munita della spirale, tolta dalla sua posizione d'equilibrio, oscilla dunque da una parte all'altra di questa posizione, siccome un pendolo oscilla dall'una all'altra parte della verticale; laonde si può dire che la spirale è per la bilancia ciò che la gravità è pel pendolo: è importantissimo in oltre di osservare che la durata delle oscillazioni della bilancia è indipendente dalla loro ampiezza, purchè la spirale sia convenientemente costruita.

Una bilancia, munita d'una molla spirale destinata a servire da regolatore a un orologio, dev'essere costruita per modo che ciascuna delle sue oscillazioni sia di una determinata durata. Ma siccome non si può raggiungere questo scopo direttamente e con assoluta esattezza, costruendo le diverse parti del regolatore colle convenienti dimensioni, si ha un mezzo di ulteriormente modificare la durata delle oscillazioni. A tal uopo si dispone vicino all'estremo fisso della spirale un pezzo A detto *rastrello* (fig. 23), che presenta un dentino a forcella in B. La spirale passa tra le punte di questa forcella, ed oscillando non perde la forma d'equilibrio che a partire dal punto B; per modo che la porzione B C della spirale

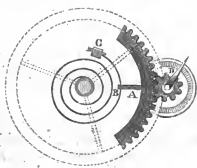



Fig. 23.

è come se non esistesse, e gli effetti avvengono come se la spirale terminasse in B. Questo pezzo A può moversi circolarmente intorno all'asse della bilancia, e lo si sposta facendo ruotare la lancetta D sul mostrino del *registro* a cui trovasi applicata. Movendo questa lancetta nell'uno o nell'altro verso, si produce lo stesso effetto come se si aumentasse o si diminuisse la lunghezza della spirale, per cui ne viene variata la forza, e si può quindi con questo mezzo ridurre la bilancia a fare delle oscillazioni di una durata precisamente eguale a quella che si vuole ottenere.

Le variazioni di temperatura influiscono sulla durata delle oscillazioni d'una bilancia a molla spirale, siccome sulla durata delle oscillazioni d'un pendolo, determinando dilatazioni e contrazioni che cambiano le dimensioni delle diverse parti della bilancia. Per ovviare a questo inconveniente si è imaginato la *bilancia a compensazione*, formata di sostanze ineguatmente dilatabili, disposte in guisa che le loro dilatazioni si compensino e non ne risulti alcun cambiamento nella durata delle oscillazioni. La figura 24 rappresenta una bilancia di questa specie; in luogo d'essere formata di un cerchietto intiero e massiccio, unito all'asse per mezzo di raggi, si compone di due bracci A, A, ciascuno dei quali porta alla sua estremità un arco metallico B C; questi archi sono formati dalla unione di due lamine metalliche inegualmente dilatabili; il metallo più dilatabile trovasi all'esterno, vale a dire dalla parte della convessità degli archi. Quando la temperatura si eleva, bracci A, A si allungano; ma gli archi B C, dilatandosi maggiormente alle loro facce esterne che alle loro facce interne, assumono una curvatura più pronunciata, e ne risulta che le estremità C di questi archi s'avvicinano all'asse della bilancia. Due piccoli pesi D, D, sostenuti dagli archi B C, si avvicinano contemporaneamente a quest'asse, e si comprende come questi pesi possano essere scelti e collocati per modo che non ne risulti alcun cambiamento nella durata delle oscillazioni della bilancia.

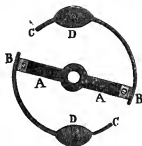



Fig. 24.

16. I vantaggi che presenta l'applicazione d'una bilancia a molla spirale, siccome regolatore d'un orologio, non bastano perchè esso possa indicare il tempo con tutta la desiderabile precisione; è d'uopo ancora che lo scappamento sia tale che la bilancia

venga sottratta, per quanto è possibile, all' azione del motore, azione che modificherebbe inegualmente la durata delle oscillazioni secondo che sarebbe più o meno energica. Ora vediamo in che cosa consistano i due scappamenti principali attualmente impiegati, e pei quali si potè giungere a una grande perfezione nel misurare il tempo mediante gli orologi portatili.

Il primo di cui parleremo è lo *scappamento a cilindro*. L'asse della bilancia è tagliato in modo particolare in una parte della sua lunghezza, come si vede nella figura 25. La parte *a b*

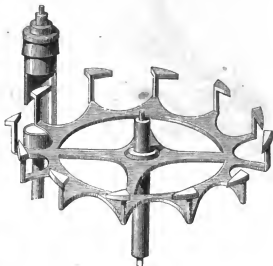



Fig. 25. Fig. 26.

venne ridotta a un semi-cilindro cavo; e in oltre venne praticato un incavo *c* in questo semi-cilindro. La parte destinata alla più importante funzione è quella semi-cilindrica situata superiormente a questo incavo. L'ultima ruota del meccanismo, quella che dicesi ruota di scappamento, è collocata in un piano perpendicolare all'asse della bilancia, e i suoi denti che si elevano al disopra della sua superficie vengono ad imboccare nel cilindro cavo portato da quest'asse (fig. 26). Le fig. 27 e 28 fanno vedere in qual modo il cilindro arresta e lascia passare successivamente i denti della ruota. In virtù delle oscillazioni della bilancia, il cilindro A ruota intorno al centro B ora in un verso ora nell'altro. Un dente C viene ad urtare colla sua punta con-

tro la superficie esterna del cilindro (fig. 27); ma ben tosto questo cilindro ha assunto un'altra posizione (fig. 28): il dente C,

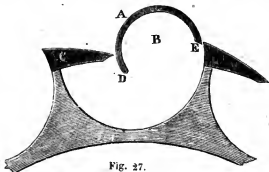



Fig. 27.

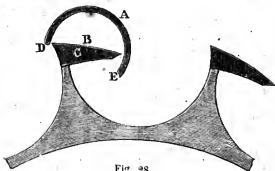



Fig. 28.

che potè muoversi sotto l'azione del motore, viene a urtare di nuovo contro la faccia interna del cilindro, il quale, riprendendo in appresso la sua primitiva posizione, lascia sfuggire il dente C ed arresta quello che segue colla sua superficie esterna, e così di seguito.

In questo scappamento, finchè un dente è arrestato sull'una delle due facce del cilindro, esso non tende in nessuna maniera a farlo muovere nell' uno o nell'altro verso; il cilindro oscilla soltanto per l' azione della spirale. Intanto l' attrito che prova da parte dei denti che arresta, congiunto alle altre resistenze che si oppongono al movimento della bilancia, tende a diminuire l' ampiezza delle sue oscillazioni; ed il movimento cesserebbe ben tosto nell'orologio se il motore non restituisse di tempo in tempo alla bilancia il movimento che queste resistenze gli fanno

perdere. Gli è per ciò che vien data ai denti la forma che essi presentano esternamente; all'istante in cui il dente C, dopo essere scorso sulla faccia esterna del cilindro (fig. 27), comincia a sfuggire, la sua convessità spinge il lembo D, ed accelera così il moto della bilancia. Gli è ancora per la stessa ragione che l'altro lembo E del cilindro è tagliato a scarpa; quando l'estremità del dente raggiunge questo lembo, essa scorre sulla piccola faccia obliqua e dà un'impulsione alla bilancia.

Lo scappamento a cilindro che abbiamo descritto è, rispetto alla bilancia, ciò che lo scappamento ad áncora è rispetto al pendolo. In questi due scappamenti, finchè un dente è arrestato sia dal cilindro sia dall' áncora, esso rimane perfettamente immobile. Così nell' uno come nell' altro il regolatore è costantemente sotto l'influenza del motore, influenza debolissima, gli è vero, ma pur sempre sussistente, poichè i denti sfregano sui pezzi che esso arresta, e poi, all' istante in cui si mettono in movimento, danno un' impulsione a questo pezzo. Lo scappamento a cilindro è assai buono e più che non occorra per gli orologi ordinarii; ma non è così per gli orologi di gran precisione, a' quali si dà il nome di *cronometri* od *orologi di marina*. Per la costruzione di questi orologi, il cui andamento deve mantenersi sensibilmente inalterato per più mesi, si è imaginato un altro scappamento, in cui venne tolta la continua influenza del motore sul regolatore, e che per ciò porta il nome di *scappamento libero*. Ecco in che cosa consiste.

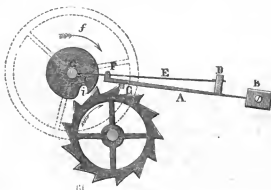



Fig. 29.

Una molla A (fig. 29), il cui spessore diminuisce gradatamente da un capo all'altro, è fissata alla sua estremità sottile

in un tallone B; questa molla porta un rialzo C, contro cui vengono successivamente ad urtare tutti i denti della ruota di scappamento. Essa porta in oltre un piccolo tallone D, nel quale è fissata una seconda molla flessibilissima E. Questa seconda molla passa sotto l'estremità incurvata di un uncinetto F, con cui termina la prima molla; per modo che essa possa abbassarsi al di sotto di questo uncinetto senza che nulla vi si opponga; mentre che se si eleva trae seco l'uncinetto e solleva così la molla A. L'asse G della bilancia è munito d'una punta *a*, che oscilla nello stesso tempo di essa e che ad ogni oscillazione incontra l'estremità della piccola molla E. Quando il movimento succede nel verso della freccia *f*, questa punta passando abbassa la piccola molla, ma la molla A resta immobile siccome la ruota di scappamento. Nell'oscillazione contraria la punta *a* solleva la molla E; questa a sua volta solleva la molla A, il dente arrestato dal rialzo C passa, e il rialzo medesimo, ricondotto ben tosto nella sua posizione dalla molla A, arresta il dente successivo. All'istante in cui un dente sfugge, un altro dente della medesima ruota di scappamento viene a dare un'impulsione al lembo *i* di un incavo praticato in un piccolo disco fissato all'asse della bilancia; in questo modo il motore, con un'azione quasi istantanea, restituisce alla bilancia il movimento che potè perdere mentre ebbe a compiere due oscillazioni. Tranne l'istante in cui vien dato questo impulso alla bilancia, si vede che essa oscilla senza essere in alcuna guisa soggetta all'influenza della forza del motore.

17. Per la natura del motore e del regolatore usati in un orologio da tasca si può trasportare liberamente da luogo a luogo la macchina intiera. Questo traslocamento però ha una leggiera influenza sull'andamento dell'orologio: influenza che, se è sempre trascurabile per gli orologi ordinarii, può riescire sensibile per quelli di gran precisione, sopra tutto quand'essi soggiacciono a movimenti repentini o irregolari. Così, avendosi a trasportare siffatti orologi, se occorre di calcolare sulla grande esattezza del loro andamento, fa mestieri di alcune precauzioni per impedire le variazioni che potrebbero derivare dallo stesso trasporto. Per questo gli orologi di marina, che nella navigazione vengono adoperati a determinare le longitudini, siccome vedremo in appresso, sono disposti sulle navi in modo da non partecipare a tutti i movimenti cagionati dalle onde; e la figura 30 dimostra la maniera con cui si raggiunge questo scopo. Il meccanismo dell'orologio è chiuso in una scatola metallica intiera-

mente coperta dalla mostra. Questa scatola è munita di due perni A, A, diametralmente opposti, per mezzo dei quali è sospesa ad un anello metallico che la circonda. L'orologio può così girare liberamente intorno all'asse formato dall'insieme di questi due perni, ed il suo centro di gravità trovasi d'altronde notabilmente al di sotto di quest'asse; per modo che, per la sola azione della gravità, la mostra tende costantemente a disporsi orizzontalmente, supponendo però sempre che anche l'asse A A sia orizzontale. L'anello metallico che porta i perni A, A è anch'esso sospeso per mezzo dei due perni B, B, e può girare liberamente intorno alla retta che li congiunge, traendo seco l'asse A A e l'orologio. Mediante questa duplice sospensione, la mostra dell'orologio può conservarsi esattamente orizzontale, qualunque sia la posizione della scatola che racchiude tutto l'apparecchio. Avvegnachè essendo propria del centro di gravità la tendenza a disporsi in un punto possibilmente basso, quello dell'orologio fa girare l'anello metallico intorno alla retta B B, per modo che l'asse A A sia orizzontale, ed in pari tempo fa girare l'orologio intorno a quest'asse, riducendo così la superficie della mostra a non essere inclinata da alcuna parte. Una piccola chiave C, che si può spingere per modo che penetri tanto in un foro dell'anello come in una specie di tubo fissato all'orologio, fa sì che si possa arrestare quando si voglia il duplice movimento intorno agli assi A A, B B. Un orologio di marina, disposto sopra una nave nel modo che abbiamo spiegato, non potrà per altro conservare una posizione orizzontale quando la nave proverà dei movimenti repentini e irregolari, ma esso pure sarà soggetto a barcollamenti talvolta molto pronunciati: se non che questi moti si effettueranno sempre leggermente, e il suo andamento non ne risentirà che un'influenza debolissima, in confronto di ciò che avrebbe luogo se fosse unito invariabilmente alla nave in modo da partecipare a tutti i suoi movimenti.

Fig. 30.

Vedesi nella figura 30 come sulla mostra dell'orologio si trovano quattro lancette, due delle quali muovonsi intorno la sua

centro, e le altre due intorno a due punti posti tra il suo centro e la sua circonferenza. Le due prime segnano le ore e i minuti, come negli orologi ordinarii; una terza lancetta segna i secondi, ed è quella che trovasi al centro d'una piccola mostra completa tracciata sulla mostra principale; finalmente la quarta lancetta, che non compie mai un intiero giro intorno all'asse che la porta, è destinata a indicare il numero dei giorni trascorsi da che l'orologio venne caricato. Questa quarta lancetta dimostra a ciascun istante lo stato di tensione in cui trovasi la molla motrice, e non si ha quindi a temere che l'orologio si fermi per non averlo ricaricato a tempo.

18. In moltissime circostanze, specialmente nelle osservazioni astronomiche, occorre di notare a un istante determinato il tempo segnato da un orologio o da un cronometro, senza per altro poter fissare gli occhi sulla sua mostra. In tali casi si ebbe ricorso a diversi mezzi per supplire all'impossibilità in cui trovasi di leggere direttamente ed immediatamente i numeri delle ore, minuti e secondi cui le lancette corrispondono.

Quando trattasi di un orologio il cui scappamento fa sentire un rumore netto e distinto ad ogni oscillazione del pendolo, si guarda preventivamente il tempo che segnano le lancette, poi si osserva il fenomeno che ci occupa continuando a contare i successivi secondi mediante la continua sensazione del rumore prodotto dallo scappamento. Si può così conoscere esattamente il numero dei secondi segnati dalla lancetta dei secondi in un istante determinato dell'osservazione, senza avere per ciò bisogno di guardare di nuovo questa lancetta. Quanto alle indicazioni delle lancette dei minuti e delle ore, possono queste essere conosciute senza difficoltà.

Per raggiungere il medesimo scopo mediante i cronometri, in cui lo scappamento non produce sufficiente rumore e non si può operare come abbiamo detto, si sono imaginati due diversi mezzi, ambedue comodissimi.

Il primo consiste a fermare istantaneamente la lancetta dei secondi mediante un bottone che si spinge al momento in cui occorre di conoscere il tempo segnato dal cronometro; in tal guisa si può leggere questo tempo un po' più tardi, quando l'osservazione che si fa più non vi si oppone.

Il secondo mezzo consiste nel disporre la lancetta dei secondi per modo che, spingendo un bottone, gli si faccia deporre istantaneamente sulla mostra un segno apparente, come sarebbe un punto nero; guardando la mostra alcuni momenti dopo, ve-

desi subito in qual posizione trovavasi la lancetta al momento in cui si è spinto il bottone, come se la lancetta medesima si fosse fermata in questa posizione. La fig. 31 indica la forma che si dà per ciò alla lancetta dei secondi. Questa lancetta si compone di una piccola laminetta di acciaio *a b c* ripiegata sopra sè stessa in *b*, in modo da formare come due lancette sovrapposte. La lancetta inferiore *a b* è fissata in *d* all'estremità di uno degli assi del meccanismo che attraversa il centro della mostra; essa presenta in *a* una parte più larga, forata nel suo mezzo e destinata a ricevere una piccola goccia d'inchiostro grasso. La lancetta superiore *b c* non è congiunta alla prima che in *b;* essa porta al di sotto della sua estremità *c* una piccola punta d'acciajo che corrisponde al foro della parte allargata della lancetta inferiore, ed è altronde abbracciata in *d* da una specie di staffa adattata ad un piccolo cilindro cavo, che avvolge l'asse di cui si è detto e ruota insieme con esso. All'istante in cui si spinge il bottone del cronometro, questo cilindro cavo si abbassa subitamente, senza cessare però di ruotare coll'asse che lo attraversa, poi immediatamente si rialza; la staffa, trascinata dal cilindro, obbliga la lancetta *b c* a piegare in *b* ed avvicinarsi alla mostra, e la piccola punta *c* attraversa la goccia d'inchiostro portata dalla lancetta *a b*, e viene a toccare la superficie della mostra, su cui depone un punto nero.

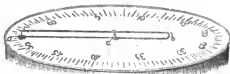



Fig. 31.

Questa seconda disposizione dei cronometri è preferibile alla prima, in quanto che permette di notare i tempi corrispondenti alle diverse fasi successive e molto vicine d'un medesimo fenomeno, essendo questi tempi indicati dai diversi punti fatti segnare dalla lancetta agl' istanti opportuni.

STRUMENTI CHE SERVONO AD AUMENTARE LA POTENZA DELLA VISTA

19. Visione d'un oggetto. — Prima di occuparci nella descrizione degli strumenti che servono ad aumentare la potenza della vista, vale a dire dei *cannocchiali* e dei *teloscopii*, esaminiamo in qual maniera succede la *visione d'un oggetto.* Questo studio ci porrà in grado di comprendere senza fatica come venga modi-

ficata la visione quando. invece di osservare un oggetto direttamente o, come dicesi, ad *occhio nudo*, lo si osserva frapponendo fra questo oggetto e l'occhio un cannocchiale od un telescopio.

Quando un corpo è luminoso, sia che la luce emani dal corpo medesimo, sia che esso trovisi semplicemente rischiarato da un altro corpo luminoso posto in sua vicinanza, ciascun punto della sua superficie si può considerare come se emetta dei raggi di luce fuori di questa superficie in tutte le direzioni possibili. Per *osservare* questo corpo si dispone il proprio occhio per modo da permettere ad una certa quantità di raggi di luce, che sono emessi dalla superficie del corpo, di penetrare attraverso dell'apertura della pupilla: questi raggi provano nell'interno dell'occhio delle deviazioni prodotte da diverse materie trasparenti, che essi devono attraversare, e danno una sensazione che determina la visione del corpo. Supponiamo ora che si avvicini il nostro occhio all'oggetto che si osserva; la visione di quest'oggetto si modifica, e le modificazioni che essa prova possono essere studiate sotto tre punti di vista differenti: 1.° sotto il rapporto della nettezza della visione; 2.° sotto il rapporto della grandezza apparente dell'oggetto; 3.° in fine sotto il rapporto della chiarezza apparente della superficie di quest'oggetto.

Cominciamo da ciò che si riferisce alla nettezza della visione. Quando uno si colloca successivamente a diverse distanze da un corpo per osservarlo, vede più o meno nettamente le particolarità che presenta la sua superficie, ed havvi una certa distanza alla quale queste particolarità si distinguono meglio che a qualunque altra. Gli è per questo che, volendo leggere un libro i cui caratteri sieno piccolissimi, si pone naturalmente il libro a una certa distanza dagli occhi; questa distanza è tale che i caratteri si veggono meglio che se il libro fosse collocato più vicino o più lontano. Questa distanza particolare, che corrisponde alla maggior nettezza della visione, dicesi la *distanza della visione distinta*. Essa non è la medesima per tutte le persone, e spesso è diversa anche pei due occhi d'una stessa persona: d'ordinario il suo valore è dai due ai tre decimetri. In generale si può dire che la visione d'un oggetto è più o meno netta secondo che la distanza tra questo oggetto e l'occhio si avvicina più o meno alla distanza della visione distinta.

Consideriamo ora la visione sotto il rapporto della grandezza apparente dell'oggetto. Se si osserva il corpo M (fig. 32), ponendo il proprio occhio nel punto *o*, la retta che congiunge i due punti A e B di questo corpo sarà veduta sotto un certo

angolo A o B. Ma se l'occhio, invece d'essere in o, viene a collocarsi in o', ad una distanza da M che sia la metà della precedente distanza, la retta A B sarà veduta sotto un angolo A o' B, che sarà doppio del precedente, ritenendo

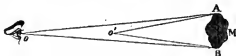



Fig. 32.

però che la linea A B sia piccola relativamente alle distanze o M e o' M. Parimenti se la distanza tra l'occhio e l'oggetto si riduce al terzo, al quarto, ecc., della distanza primitiva o M, l'angolo sotto il quale sarà veduta la linea A B diverrà il triplo, il quadruplo, ecc., dell'angolo A o B. Questi angoli A o B, A o' B,... si chiamano le grandezze apparenti della linea A B: la grandezza apparente d'una linea divien dunque il doppio, il triplo. il quadruplo,... di ciò che essa era primitivamente, quando la distanza dell'occhio da questa linea si riduce alla metà, al terzo. al quarto,... della primitiva distanza. In pari tempo è facile il riconoscere che la grandezza apparente della superficie del corpo al quale questa linea appartiene diviene quattro, nove, sedici volte maggiore; per tal modo si è condotti a questa legge che: *La grandezza apparente di una delle dimensioni di un oggetto varia in ragione inversa della distanza dell' occhio da quest' oggetto, e la grandezza apparente della sua superficie varia in ragione inversa del quadrato di questa distanza.*

Vediamo finalmente ciò che ha rapporto alla chiarezza apparente della superficie dell'oggetto. Trovandosi l'occhio collocato a una certa distanza dal corpo M (fig. 33), riceve la luce che viene emanata da un gran numero di punti della superficie di questo corpo; consideriamo uno di questi punti in particolare, per esempio il punto m. Questo punto emana, come fu detto, dei raggi di luce in ogni direzione fuori della

Fig. 33.

superficie del corpo di cui fa parte; ma di tutti questi raggi l'occhio non riceve che quelli compresi nell'interno della superficie conica, avente per vertice il punto m e per base l'aper-

tura *a b* della pupilla. Supponiamo ora che l' occhio s' avvicini al corpo M, in modo da ridurre a metà la distanza a cui si trova da questo corpo, e sia *a' b'* la nuova posizione della pupilla. In *a' b'* le dimensioni trasversali del cono di luce *m a b* sono due volte minori delle corrispondenti dimensioni di questo cono verso la base *a b;* la grandezza della sezione trasversale del cono in *a' b'* non è dunque che il quarto della grandezza della base *a b* di questo cono, vale a dire non è che il quarto dell' apertura della pupilla. Da ciò risulta che l'apertura della pupilla in *a' b'* lascerà penetrare nell' interno dell' occhio un numero di raggi di luce emanati dal punto *m* quattro volte maggiore che quando la pupilla medesima trovavasi in *a b*. Ciò che abbiamo detto per la luce emanata dal punto *m*, può evidentemente ripetersi per quella che proviene da tutti gli altri punti ad esso vicini della superficie del corpo M. Si conchiuderà dunque senza fatica che se la distanza dell' occhio dall' oggetto diminuisce della metà, la quantità di luce che l' occhio riceve da una porzione qualunque della superficie di quest'oggetto diviene quattro volte maggiore. Ma nello stesso tempo la grandezza apparente di questa porzione di superficie è parimenti quadruplicata, siccome non ha guari venne spiegato: essa aumenta dunque nello stesso rapporto della quantità di luce ricevuta dall'occhio, e ne risulta che *la chiarezza della superficie non cambia*. Sarebbe evidentemente lo stesso anche per qualunque altra nuova posizione che l'occhio assumesse rispetto all'oggetto.

Riassumendo pertanto, quando si osserva un oggetto luminoso successivamente a diverse distanze: 1.° l'oggetto è veduto con maggiore o minore nettezza secondo che la sua distanza dall'occhio si avvicina più o meno alla distanza della visione distinta; 2.° la grandezza apparente di ciascuna dimensione dell'oggetto varia in ragione inversa della sua distanza dall'occhio, e la grandezza apparente della sua superficie varia in ragione inversa del quadrato di questa distanza; 3.° finalmente la chiarezza della superficie dell' oggetto rimane la stessa qualunque sia la sua distanza dall'occhio.

Quest' ultimo risultato sembra in contraddizione con quanto si osserva tutti i giorni, essendo noto che, quanto più ci avviciniamo ad una superficie, la chiarezza di questa superficie aumenta costantemente; tanto che i pittori nei loro quadri non danno la medesima tinta alle superficie egualmente luminose che trovansi situate le une nel primo piano, le altre nel secondo. Ma convien riflettere esservi una causa che modifica la

chiarezza dell'oggetto che si osserva, causa che non esisteva nel caso sul quale abbiamo ragionato poco fa; ed è la presenza dell'aria interposta tra l'oggetto e l'occhio in tanta maggior quantità quanto più considerevole è la distanza. Senza l'interposizione dell'aria, un muro bianco apparirebbe egualmente chiaro a qualunque distanza da questo muro ci trovassimo per osservarlo; ma in realtà questo muro sembra tanto meno chiaro mano mano che se ne allontana, poichè la quantità d'aria interposta tra questo muro e l'occhio aumenta sempre più, ed essa assorbe per conseguenza una quantità sempre più grande di luce. Che se fin qui abbiam fatto astrazione dall'aria interposta tra l'occhio e l'oggetto, ciò fu perchè ci tornerà utile in seguito.

20. Proprietà delle lenti. — Essendo i cannocchiali formati dalla riunione di più vetri a superficie sferiche, ossia di *lenti*, cominceremo dal rammentare brevemente le proprietà di queste lenti.

Le lenti si dividono in due classi distinte, dietro la maniera ond'esse agiscono sui fasci di raggi luminosi: le une diconsi lenti convergenti, le altre divergenti. Le prime sono quelle il cui spessore è maggiore al centro che verso i lembi: le loro due facce sono ordinariamente convesse, ma l'una di esse può essere piana, od anche concava, per modo che, tagliando una simile lente in due, mediante un piano condotto secondo il suo asse di figura, si avrà una sezione presentante una delle tre forme qui indicate (fig. 34, 35, 36). Al contrario nelle lenti divergenti lo spessore è minore al centro che verso i lembi; e la loro sezione presenta una delle tre forme che veggonsi nelle figure 37, 38, 39.

Fig. 34. Fig. 35. Fig. 36.

Fig. 37. Fig. 38. Fig. 39.

Consideriamo una lente convergente (fig. 40) esposta ai raggi di luce che emanano da un punto luminoso A, situato sul suo asse di figura e sufficientemente lontano. Quelli tra questi raggi che cadono sulla lente la attraversano piegandosi più o meno, e, dopo esserne usciti, vanno a convergere tutti press'a poco nel medesimo punto *a*. Se il punto luminoso A si avvicina alla lente,

il punto a, ove convergono i raggi emergenti, se ne allontana. Avvicinandosi così sempre più il punto A, il punto a giunge a

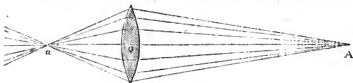



Fig. 40.

trovarsi a distanza infinita, vale a dire che i raggi emergenti sono paralleli (fig. 41). In questo caso la posizione particolare

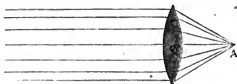



Fig. 41.

del punto A dicesi foco principale, o semplicemente il *foco* della lente; la distanza di questo foco dalla lente dicesi la sua *distanza focale*. Se il punto A s'avvicina ancora alla lente, i raggi di luce da esso emessi rimangono divergenti dopo averla attraversata, siccome lo erano prima; soltanto la loro divergenza è diminuita, e i prolungamenti delle loro direzioni vanno ad incontrarsi in un punto a, situato dalla medesima parte del punto A rispetto alla lente (fig. 42). L'effetto della lente sui raggi di luce

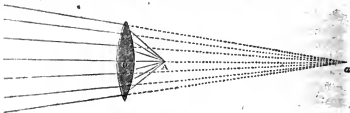



Fig. 42.

emanati dal punto A è dunque di renderli convergenti, o di diminuirne la divergenza, secondo che la distanza di questo punto dalla lente è maggiore o minore della distanza focale della lente medesima; se il punto A trovasi nello stesso foco, la lente rende

paralleli i raggi da esso emanati, come pure essa fa convergere verso il foco i raggi luminosi che riceve paralleli al suo asse.

Una lente convergente agisce in modo affatto analogo sui raggi di luce che emanano da un punto A situato a breve distanza dal suo asse (fig. 43), come pure sui raggi paralleli, la cui di-

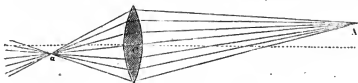



Fig. 43.

rezione forma un piccolo angolo con quest'asse (fig. 44). Tra i raggi che il punto A invia alla lente ve ne ha necessariamente

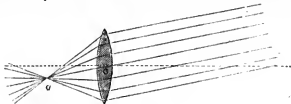



Fig. 44.

uno che non è deviato nè da una parte nè dall'altra; si dimostra che questo raggio passa sempre per uno stesso punto O, qualunque sia la posizione dal punto luminoso A, purchè non sia molto lontano dall'asse della lente: questo punto dicesi il *centro ottico* della lente.

L'azione delle lenti divergenti sui fasci di raggi di luce è contraria a quella delle lenti convergenti. Se i raggi che giungono sopra una tal lente sono convergenti, essa li rende o meno convergenti, o paralleli, o divergenti; se sono paralleli, li rende divergenti; e se sono divergenti, ne aumenta la divergenza.

21. Supponiamo che un oggetto luminoso A B (fig. 45) sia collocato davanti ad una lente convergente, a maggiore distanza del suo foco F. I raggi di luce che partono dal punto A di questo oggetto e che attraversano la lente, convergono in seguito verso il punto *a*, i raggi che partono dal punto B convergono verso il punto *b*, ed analogamente succede dei raggi che partono da tutti gli altri punti dell'oggetto che si considera. Ciò posto, imaginiamo che si collochi l'occhio al di là di *a b*, ove trovansi i punti

di concorso di questi differenti fasci di raggi di luce. I raggi partiti dal punto A, fatti convergenti dalla lente e che s'incon-

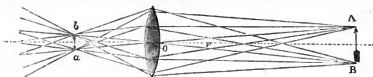



Fig. 45.

trano nel punto *a*, entreranno nell'interno dell'occhio producendovi la medesima sensazione come se provenissero da un punto luminoso situato in *a*; i raggi emanati dal punto B si comporteranno come se partissero da un punto luminoso situato in *b*; e così degli altri. L'occhio proverà dunque la medesima sensazione come se in *a b* si trovasse un oggetto della stessa forma dell'oggetto A B, ma rovesciato; e si vedrà questo oggetto in *a b* come se vi esistesse realmente: la qual cosa si esprime dicendo che la lente produce in *a b* un'imagine rovesciata di A B.

Una semplicissima esperienza permette di porre in assoluta evidenza l'imagine prodotta da una lente. Siasi in una camera, ove non giunga luce dal di fuori, o perchè tutte le aperture siano ermeticamente chiuse, o perchè si operi di notte; sopra una tavola di questa camera oscura dispongasi una candela accesa A (fig. 46), e ad una certa distanza una lente B, montata

Fig. 46.

sopra un piede e rivolta per modo che una delle sue facce guardi la fiamma della candela; si collochi finalmente dall'altra parte della lente, ad opportuna distanza, un cartone bianco C,

e si vedrà sopra questo cartone un' imagine rovesciata della fiamma della candela, come pure una porzione della candela medesima che è illuminata della vicinanza della fiamma.

22. Quando si vuol osservare minutamente un oggetto di piccole dimensioni si adopera una lente molto convergente, o *microscopio*, per modo che lo si può vedere a dimensioni assai ingrandite. Ecco come si produce questo effetto. Trovandosi l'oggetto A B (fig. 47) collocato tra la lente ed il suo foco F, i raggi

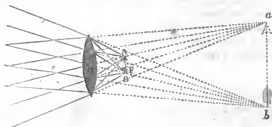



Fig. 47.

di luce che partono dal punto A, e che attraversano la lente, non perdono tutta la loro divergenza; ma, dopo averla attraversata, sembrano provenire da un punto *a*, situato al di là del punto A, sul prolungamento della retta A O, che passa per questo punto A e pel centro ottico O della lente. I raggi che partono dal punto B provano egualmente tali deviazioni, che sembrano provenire dal punto *b*, situato sul prolungamento della retta B O; e lo stesso accade di tutti gli altri punti dell' oggetto A B. L' occhio, situato dall' altra parte della lente, e che riceve i raggi di luce emanati da questo oggetto, prova dunque la stessa impressione come se la lente non esistesse ed all' oggetto A B venisse sostituito un altro oggetto della medesima forma *a b*. L'imagine *a b* veduta dall'occhio è più o meno lontana dalla lente, e quindi dall'occhio, secondo che l'oggetto A B è più o meno vicino al foco F. Si comprende adunque come si possa collocare l'oggetto a tal distanza da questo foco che l'imagine *a b* trovisi riferita alla distanza della visione distinta (19). Ne risulterà che l' occhio potrà vedere nettamente le particolarità di questa imagine, le cui dimensioni sono d'altronde molto maggiori di quelle dell' oggetto cui dessa trovasi sostituita; il che si esprime dicendo che la lente ingrandisce gli oggetti.

Egli è poi chiaro che più il foco F sarà vicino alla lente, e più l'oggetto A B dovrà pure trovarvisi vicino per essere osser-

vato, come abbiamo detto testè, e per conseguenza maggiore sarà anche il rapporto tra le dimensioni dell'imagine *a b* e le corispondenti dell'oggetto; poichè quest'imagine deve sempre trovarsi alla stessa distanza dall'occhio e quindi dalla lente. L'ingrandimento prodotto dalla lente dipende dunque dalla sua distanza focale, e questa distanza è tanto minore quanto minori sono i raggi delle superficie sferiche della lente.

25. **Cannocchiali.** — I cannocchiali, di cui si fa uso nelle osservazioni astronomiche, sono strumenti formati dalla combinazione di più lenti, mediante le quali si possono vedere gli oggetti molto meglio che se si osservassero ad occhio nudo. Un cannocchiale ridotto alla sua maggiore semplicità si compone: 1.° d'una lente convergente L (fig. 48), destinata a produrre un'imagine *a b*

Fig. 48.

dell'oggetto A B che si osserva, conformemente a quanto abbiamo spiegato dianzi (21); 2.° d'una seconda lente L', la quale non è altro che un microscopio semplice (22) destinato ad ingrandire l'imagine *a b*. La prima di queste due lenti, quella rivolta verso l'oggetto A B, dicesi per questa ragione *l'obiettivo;* la seconda, presso cui l'osservatore pone l'occhio per guardare nel cannocchiale, dicesi *l'oculare*. Queste due lenti sono montate alle due estremità d'un tubo annerito internamente e destinato ad impedire che non giungano all'oculare altri raggi luminosi oltre quelli che vengono direttamente dall'obiettivo. Questo tubo, che per verità non è indispensabile, serve in oltre a congiungere fra loro l'obiettivo e l'oculare per modo che basta muoverlo per ispostare insieme le due lenti, e disporre così il cannocchiale che si diriga verso quell'oggetto che si vuole.

L'imagine *a b* non si forma sempre alla medesima distanza dell'obiettivo; essa gli si avvicina più o meno, secondo che l'oggetto A B è più o meno lontano. Quest'imagine si forma nel foco medesimo dell'obiettivo quando l'oggetto A B è tanto lontano che i raggi inviati da ciascun suo punto alla superficie dell'obiettivo possano venire considerati siccome tra loro paralleli; ciò che ha luogo tutte le volte che si osserva un astro.

D'altra parte, la posizione dell'oculare rapporto all'imagine $a\ b$ varia secondo la vista dell'osservatore, poichè questa posizione dev' essere tale che l'imagine $a\ b$ trovisi riferita in $a'\ b'$ alla distanza della visione distinta, distanza che cambia dall'uno all'altro individuo. Gli è per questa duplice ragione che l'oculare è adattato a un piccolo tubo, che si fa entrare più o meno nel tubo principale, per portare le due lenti alla distanza opportuna.

24. Vediamo in qual modo la visione d'un oggetto trovasi modificata dall'interposizione d'un tale cannocchiale tra l'oggetto e l'occhio; e consideriamo perciò l'effetto prodotto sotto i tre punti di vista precedentemente indicati (19), vale a dire sotto il rapporto della nettezza della visione, della grandezza apparente dell'oggetto e della chiarezza apparente della superficie dell'oggetto medesimo.

Dalla semplice idea che ci siam formati d'un cannocchiale risulta primieramente che i raggi luminosi emanati da uno stesso punto dell'oggetto, e deviati dal loro cammino pel loro passaggio attraverso il cannocchiale, giungono all'occhio collo stesso grado di divergenza che avrebbero se provenissero da un punto situato alla distanza della visione distinta. Si può dunque dire che quando si osserva un oggetto mediante un cannocchiale, avendo cura di disporre l'obiettivo e l'oculare all'opportuna distanza, la visione è sempre netta.

I cannocchiali non ingrandiscono realmente gli oggetti, poichè è evidente che l'imagine $a'\ b'$, d'onde i raggi sembrano partire uscendo dal cannocchiale, è molto più piccola dell'oggetto medesimo A B, che trovasi sempre a una gran distanza dall'obiettivo. Ma per avere un' idea della potenza d'un cannocchiale di cui si fa uso non debbonsi paragonare fra loro le dimensioni reali dell'oggetto e dell'imagine $a'\ b'$; debbonsi invece mettere fra loro a paragone le grandezze apparenti dell'oggetto e dell'imagine. Noi dobbiamo soltanto esaminare se l'oggetto apparisce più grande quando si osserva col cannocchiale che quando si osserva ad occhio nudo. Ora è facile il vedere che la grandezza apparente della linea A B veduta direttamente, vale a dire senza cannocchiale, è sensibilmente eguale all'angolo A O B, od anche, ciò che torna lo stesso, eguale a a O b; giacchè la lunghezza del cannocchiale può essere affatto trascurata relativamente alla distanza a cui si trova l'oggetto A B. D'altra parte si può prendere l'angolo a' O' b' od anche a O' b per la grandezza apparente dell'imagine $a'\ b'$; giacchè l'occhio si pone sempre vicinissimo all'oculare, e per conseguenza al punto O', per ricc-

vere i raggi che provengono da quest'imagine. Il rapporto della grandezza apparente dell'imagine *a' b'* a quella della linea A B è dunque eguale al rapporto degli angoli *a* O' *b* e *a* O *b*. Questo rapporto dicesi l' *ingrandimento* del cannocchiale. Per averne un' espressione semplice, osserveremo dapprima che gli angoli *a* O' *b* e *a* O *b* essendo sempre piccoli, si può considerare indifferentemente *a b* siccome un arco di cerchio avente per centro sia il punto O, sia il punto O'; vale a dire che il rapporto degli angoli *a* O' *b* e *a* O *b* è eguale al rapporto inverso delle distanze dell' imagine *a b* dai due punti O' ed O. Noi faremo anche osservare che, attesa la grande distanza a cui trovasi l' oggetto A B, l' imagine *a b* si forma sensibilmente al foco dell'obiettivo (20), e che d'altra parte l'oculare dev'essere disposto per modo che *a b* sia vicinissimo al suo foco, affine di riferire *a' b'* alla distanza della visione distinta (22): potremo dunque dire che l' ingrandimento del cannocchiale è eguale al rapporto tra la distanza focale dell'obiettivo e quella dell'oculare. Da ciò si comprende che, costruendo un cannocchiale mediante un obiettivo ed un oculare scelti opportunamente, si potrà ottenere quel maggiore ingrandimento che si vorrà.

Esaminiamo infine l'effetto prodotto da un cannocchiale sotto il rapporto della chiarezza apparente della superficie dell'oggetto che si osserva. Ciascun punto M di quest'oggetto manda raggi luminosi sopra tutta la superficie dell' obiettivo. Questi raggi, fatti convergenti dall'azione della lente, vanno ad incontrarsi in un solo punto *m* appartenente all' imagine *a b* (fig. 49); essi

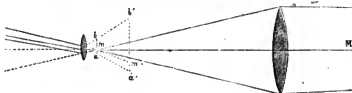



Fig. 49.

continuano poscia il loro cammino, e formano un fascio divergente, che viene a cadere sullà superficie dell' oculare; infine questa seconda lente diminuisce la loro divergenza per modo che sembrano provenire dal punto *m'* dell' imagine *a' b'*. Se si osservasse direttamente l'imagine *a b*, senza far uso dell'oculare, si dovrebbe mettere l' occhio ad una distanza da quest'imagine eguale alla distanza della visione distinta; a questa distanza il

fascio dei raggi che passano pel punto *m* sarebbe troppo largo per penetrare tutto per l'apertura della pupilla: l'occhio non riceverebbe dunque che una porzione dei raggi emanati dal punto M e che hanno percorso l'interno del cannocchiale. Ma l'oculare, diminuendo la divergenza di questi raggi poco dopo il loro passaggio pel punto *m*, e permettendo in oltre all'occhio d'avvicinarsi molto a questo punto, fa si che tutto il fascio possa attraversare la pupilla ed entrare nell'occhio. Così l'occhio riceve da ciascun punto dell'oggetto osservato la totalità dei raggi che questo punto manda sulla superficie dell'obiettivo, fatta astrazione però della perdita di luce derivante dal passaggio dei raggi attraverso le lenti. Con questa restrizione si può dunque dire che, se si guarda dapprima un oggetto ad occhio nudo e lo si osserva poi mediante un cannocchiale, la quantità di luce trasmessa da ciascun punto dell'oggetto nell'interno dell'occhio aumenta nel rapporto della superficie dell'obiettivo all'apertura della pupilla. Nel fatto però questa quantità di luce è aumentata in un rapporto molto minore, a cagione dell'assorbimento di una parte dei raggi fatti dal vetro che essi attraversano. Se la grandezza apparente della superficie dell'oggetto si trovasse aumentata, per effetto del cannocchiale, precisamente nello stesso rapporto che la quantità di luce che l'occhio riceve da ciascun punto di questa superficie, la chiarezza apparente della superficie medesima rimarrebbe la stessa, così come ha luogo per la visione diretta d'un oggetto quando vi si avvicina più o meno (19). Ma l'accrescimento della grandezza apparente dell'oggetto, derivante dall'uso d'un cannocchiale, dipende dalle distanze focali dell'obiettivo e dell'oculare; mentre l'incremento della quantità di luce che l'occhio riceve da ciascun punto della superficie di quest'oggetto, dipende dalla grandezza dell'obiettivo: queste due cause essendo affatto distinte, potranno avere un'influenza relativa più o meno grande, e la chiarezza apparente della superficie dell'oggetto sarà aumentata o diminuita dall'uso di un cannocchiale, secondo che la seconda causa prevarrà sulla prima, o viceversa.

Riassumendo quanto abbiam detto, noi vediamo che l'uso di un cannocchiale per osservare un oggetto modifica la visione nel modo seguente:

1.° La visione è sempre netta, poichè i raggi ricevuti dall'occhio e derivanti da un medesimo punto dell'oggetto sembrano venire da un punto situato alla distanza della visione distinta;

2.° La grandezza apparente di ciascuna dimensione dell'oggetto è aumentata nel rapporto della distanza focale dell'obiet-

tivo a quella dell' oculare, e per conseguenza la grandezza apparente della superficie dell' oggetto è aumentata nel rapporto eguale al quadrato del precedente.

3.° Infine la chiarezza apparente della superficie dell' oggetto dipende insieme dalla forza d'ingrandimento del cannocchiale e dalla grandezza del suo obiettivo; per modo che, ad eguale ingrandimento, questa chiarezza è tanto maggiore quanto l'obiettivo medesimo è maggiore, e per uno stesso obiettivo è tanto più debole quanto l'ingrandimento è più considerevole.

È utile eziandio l'osservare che i cannocchiali, disposti siccome abbiamo indicato, rovesciano gli oggetti; vale a dire, ch' essi fanno vedere in basso la parte che nell' oggetto osservato trovasi in alto, a sinistra quella che è a destra, e viceversa. Questo rovesciamento degli oggetti non ha importanza nelle osservazioni astronomiche; basta esserne prevenuti perchè non ne risulti alcun inconveniente.

25. L'uso delle lenti isolate, sia come microscopii, sia come occhiali, rimonta per certo a un'epoca molto lontana; l'ingrandimento degli oggetti veduti attraverso ad un vaso rotondo di vetro ripieno d'acqua dovette condurre alla loro scoperta, poco tempo dopo l'invenzione del vetro. Ma non è lo stesso dei cannocchiali, la cui scoperta è molto più recente. Si narra che venissero inventati da un ottico di Middelbourg, nella cui bottega alcuni fanciulli giuocando avessero combinato insieme de' vetri lenticolari, in guisa da costruire questi maravigliosi strumenti.

Galileo, avendo inteso parlare di questa invenzione (nel 1609), costrusse esso pure dei cannocchiali, e servissene per osservare gli astri. La disposizione da lui adottata non è precisamente la medesima di cui abbiamo precedentemente parlato, e che venne usata più tardi: essa differisce per l'oculare, il quale è formato da una lente divergente in luogo di una lente convergente. Un simile oculare non può pertanto considerarsi come un microscopio, col quale osservare l'imagine prodotta dall'obiettivo; ma si comprende di leggeri che conduce al medesimo risultato. Sia a b (fig. 50) l'imagine dell'oggetto A B, prodotta dall' obiettivo L; l'oculare L' non vien già collocato al di là di quest' imagine, ma tra essa e l' obiettivo, in guisa da ricevere i raggi luminosi prima che abbiano formato quest' imagine. I raggi emanati dal punto A, e fatti convergenti dalla lente L, concorrerebbero al punto a se non vi fosse la lente L': per la seconda lente questi raggi da convergenti diventano divergenti, e sembrano partire da un punto a'. Collocando opportunamente

l'oculare L', si può fare in modo che l'imagine a' b', d'onde sembrano derivare i raggi che entrano nell'occhio, trovinsi alla

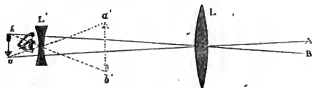



Fig. 50.

distanza della visione distinta; per modo che si ottiene definitivamente quel medesimo risultato che si avrebbe se i raggi formassero realmente l'imagine a b, per essere poscia assoggettati all'azione d'un microscopio destinato ad ingrandire questa imagine. Il cannocchiale di Galileo presenta due vantaggi su quello di cui abbiamo parlato antecedentemente: in primo luogo esso non rovescia gli oggetti, com'è facile a riconoscere (fig. 50); in secondo luogo, ad eguale obiettivo, ha minor lunghezza del cannocchiale ordinario, a motivo della posizione dell'oculare rapporto all'imagine prodotta da questo obiettivo. Per questi due vantaggi, che non hanno grande importanza nelle osservazioni astronomiche, la disposizione adottata da Galileo venne conservata nella costruzione dei cannocchiali da teatro, il cui scopo principale è di aumentare considerabilmente la chiarezza apparente degli oggetti, facendoli vedere con molta nettezza. In questi cannocchiali l'ingrandimento è di rado maggiore di tre volte (*).

Il maggiore ingrandimento de' cannocchiali usati da Galileo nelle sue osservazioni astronomiche fu di 32 volte. Qualche tempo dopo Huyghens e Cassini spinsero quest'ingrandimento sino a 100 volte, per cui diedero ai loro cannocchiali una lunghezza maggiore di 8 metri.

Più tardi, verso il 1664, Auzout costrusse un obiettivo mediante il quale si poteva ottenere un ingrandimento di 600 volte; ma la sua distanza focale era di 98 metri, per cui essendo difficilissimo il collocamento e l'uso d'un cannocchiale di tanta lunghezza, Auzout vi soppresse il tubo, che, siccome abbiam detto (23),

(*) Il cannocchiale di Galileo ha però sul cannocchiale detto propriamente *astronomico* l'inconveniente di presentare un campo minore, ed è per questo che non è suscettibile che di un limitatissimo ingrandimento. Il cannocchiale astronomico venne imaginato da Keplero, sebbene più tardi Scheiner e Rheita se ne siano disputata la scoperta.

non è assolutamente indispensabile. Poco tempo prima era stata costruita un'immensa torre in legno, in cima alla quale dovevano pervenire le acque innalzate dalla macchina di Marly e destinate ad alimentare i serbatoi del castello di questo nome; compiuto l'acquedotto, che tuttora esiste, e divenuta inutile questa torre, venne essa trasportata nel giardino dell'Osservatorio di Parigi, e sulla sua parte superiore stabilì Auzout il suo obiettivo, disponendolo per modo che il suo asse di figura potesse venir diretto verso la regione del cielo che si voleva esaminare. Quanto all'oculare di questo immenso cannocchiale, veniva esso tenuto in mano dell'osservatore, il quale doveva necessariamente collocarsi vicino al luogo in cui formavasi l'imagine dell'astro che era oggetto della sua osservazione. Si comprende facilmente quanto era incomoda siffatta disposizione, che obbligava l'osservatore a cangiar posto a norma del moto dell'astro nel cielo, ora abbassandosi verso il suolo, ora ponendosi ad altezza dal suolo più o meno grande, secondo la maggiore o minore altezza di quest'astro sull'orizzonte. D'altra parte l'obiettivo e l'oculare non essendo fra di loro collegati, siccome nei cannocchiali ordinarii, non potevano essere quasi mai similmente orientati; per modo che le imagini osservate mancavano di nettezza (*).

(*) Sebbene Cristiano Huyghens avesse scoperto nel 1655 il primo satellite di Saturno (il sesto in ordine di distanza da questo pianeta) con un cannocchiale di soli 4 metri di distanza focale, esso però diresse al cielo cannocchiali che avevano perfino 40 metri di lunghezza. Suo fratello Costantino poi costrusse obiettivi le cui distanze focali erano di 41, 55 e 68 metri, quantunque fossero stati impiegati nell'osservazione di soli oggetti terrestri; e questi obiettivi sono posseduti tuttora dalla Società Reale di Londra. Devesi pure allo stesso Huyghens il pensiero di sopprimere in quei lunghissimi cannocchiali il tubo congiungente l'obiettivo coll'oculare, collocando l'obiettivo in un brevissimo tubo all'estremità di una lunga armatura girevole in ogni direzione intorno ad un perno mediante una corda, in modo da potere addurre l'asse a corrispondere all'asse di altro piccolo tubo tenuto in mano e portante l'oculare.

Venivano in simil guisa adoperati da Domenico Cassini i giganteschi cannocchiali coi quali esso fece le sue grandi scoperte, e le sue lenti erano state costruite dagli Italiani Borelli e Campani e da Hartsoeker: una lente costruita da quest'ultimo aveva 84 metri di distanza focale.

Hooke propose di costruire un cannocchiale la cui distanza focale fosse maggiore di 3 chilometri, a fine di vedere gli animali nella luna; ma il medesimo Auzout ne combattè l'idea. Anche prima di lui il cappuccino Rheita ebbe a parlare della possibilità di costruire un cannocchiale dell'ingrandimento di 4000 volte, mediante il quale si potessero rilevare esatte carte della luna.

È naturale la domanda perchè si aumentasse così oltre misura la distanza focale dell'obiettivo, e per conseguenza la lunghezza del cannocchiale, affine di ottenere de'forti ingrandimenti. Abbiam veduto che l'ingrandimento d'un cannocchiale è misurato dal rapporto tra la distanza focale dell'obiettivo e quella dell'oculare (24); sembra dunque che, diminuendo sufficientemente la seconda di queste due distanze focali, senza modificare la prima, si possa ottenere quel maggiore ingrandimento che si voglia. Ma esiste tal circostanza, della quale finora non abbiam parlato, per cui non si può aumentare l'ingrandimento colla sola diminuzione della distanza focale dell'oculare. Affinchè la chiarezza delle imagini prodotte da un cannocchiale non sia troppo debole, è indispensabile d'aumentare le dimensioni dell'obiettivo a misura che se ne aumenta l'ingrandimento. Se quest'aumento nelle dimensioni dell'obiettivo si effettuasse senza cangiare la sua distanza focale, e conseguentemente senza cangiare i raggi delle superficie sferiche di cui forman parte le sue due facce, ciascuna di queste due facce diverrebbe una frazione maggiore dell'intiera superficie sferica a cui essa appartiene. Ora si sa che le lenti decompongono la luce e producono delle imagini, i cui lembi presentano i colori dell'iride; si sa in oltre che queste colorazioni hanno tanto maggiore importanza, relativamente alle dimensioni dell'imagine che desse accompagnano, quanto più le facce delle lenti che le hanno prodotte sono esse medesime maggiori rapporto alle superficie totali delle sfere di cui fanno parte. Vedesi dunque che se si aumenta l'ingrandimento d'un cannocchiale, diminuendo soltanto la distanza focale dell'oculare, ciò che obbliga ad aumentare le dimensioni dell'obiettivo, conservandosi però sempre la stessa distanza focale, si producono delle imagini, in cui le colorazioni acquistano una maggiore importanza relativa, e la confusione che così ne deriva nelle particolarità di queste imagini fa perdere que' vantaggi che potrebbero derivare dall'aumentato ingrandimento. Se al contrario si aumenta l'ingrandimento accrescendo la distanza focale dell'obiettivo, si possono aumentare le dimensioni trasversali di questa lente, senza che le sue facce cessino d'essere piccolissime frazioni delle superficie sferiche cui esse appartengono; ed ottengonsi per conseguenza delle imagini più grandi, senza accrescere l'importanza relativa delle colorazioni.

Non sarebbesi potuto sperare di spingere l'ingrandimento oltre quello di seicento volte ottenuto da Auzout nel cannocchiale gigantesco di cui abbiamo parlato, se un fisico inglese, Dollond,

non avesse trovato il mezzo di costruire degli obiettivi *acromatici*, vale a dire tali che deviano i raggi di luce senza decomporli. Quest'importante scoperta, che data dal 1758, non solo permise di costruire delle lenti di maggiore potenza, senza nulla perdere dal lato della nettezza delle imagini, ma ancora di diminuire considerevolmente le loro dimensioni, per cui diventanó d'un uso molto più comodo. Un obiettivo acromatico è formato dall'accoppiamento di due lenti (fig. 51), l'una convergente, l'altra divergente. Queste due lenti non sono fatte colla stessa specie di vetro: la prima è di vetro verde, detto dagli inglesi *crown-glass;* la seconda di vetro bianco, chiamato *flint-glass*. Quando un fascio di raggi luminosi emanati da un punto esterno viene a cadere sopra un tale obiettivo, subisce successivamente l'azione di queste due lenti; la prima lo rende convergente, e nello stesso tempo decompone la luce di cui è costituito; la seconda, agendo oppostamente, distrugge l'avvenuta decomposizione e diminuisce la convergenza del fascio, senza per altro toglierla completamente. Per tal guisa la riunione di queste due lenti costituisce un obiettivo, il quale in fine produce lo stesso effetto di una lente convergente, che non decomporrebbe la luce. (*) Dopo l'ap-

Fig. 51.

(*) Se la lente di flint-glass, come distrugge l'avvenuta composizione della luce, distruggesse altresì la prodotta convergenza del fascio luminoso, impedirebbe la formazione dell'imagine.

Newton credeva che tutte le lenti di qualsivoglia sostanza, quando avessero la stessa distanza focale, producessero la stessa quantità di colorazione; e da ciò conchiuse essere impossibile, mediante le lenti, la formazione delle imagini senza colorazione. La scoperta del Dollond sta dunque in ciò: che la quantità di colorazione prodotta dalle lenti, anche a pari distanza focale, è diversa a norma delle sostanze colle quali esse lenti sono costruite. Ora la *dispersione* della luce prodotta da una lente di flint-glass è *maggiore*, a pari distanza focale, della dispersione prodotta da una lente di crown-glass; per cui a correggere, mediante una lente divergente di flint-glass, la colorazione prodotta da una lente convergente di crown-glass, è duopo che l'azione divergente della prima sul fascio luminoso sia *minore* dell'azione convergente della seconda, o in altre parole, che la distanza focale della prima sia *maggiore* della distanza focale della seconda.

Prima ancora che Dollond fosse riuscito a costruire lenti acromatiche, Eulero aveva conchiuso sulla possibilità di una simile scoperta, dietro il perfetto acromatismo dell'occhio umano, la cui cavità trovasi occupata da diversi umori diversamente rifrangenti e disperdenti la luce, i quali vengono successivamente attraversati dai raggi penetrati nell'occhio medesimo.

plicazione degli obiettivi acromatici, si potè spingere l'ingrandimento de' cannocchiali oltre il limite raggiunto con tanta fatica da Auzout, conservando ad essi tali dimensioni da poterli facilmente maneggiare. Ma per conservare sufficiente chiarezza alle imagini abbiam veduto esser necessario accrescere le dimensioni dell'obiettivo nello stesso tempo che si aumenta l'ingrandimento di un cannocchiale; e siccome riesce molto difficile l'ottenere grandi masse di vetro tanto omogenee da servire alla costruzione degli obiettivi, così questo ingrandimento rimane ancora limitato, per modo che finora non si potè oltrepassare quello di 3000 volte. Il maggiore obiettivo costruito finora ha 38 centimetri di diametro, ed è uscito dall'officina di Lerebours (*).

I grandi cannocchiali sono comunemente muniti di parecchi oculari di cambio, de' quali servesi alternativamente, secondo che si voglia ingrandire più o meno l'imagine prodotta dall'obiettivo. Quando si osserva un astro assai luminoso, s'impiega

(*) Quando si parla di obiettivi colossali non devesi passare inosservato il celebre stabilimento di Monaco, nel quale la costruzione delle lenti dapprima era diretta da Fraunhofer, cui successero Merz e Mahler. Sotto la direzione del primo vennero costrutti i due grandi rifrattori, ambedue di 24 centimetri d'apertura e di 4m,4 di distanza focale; l'uno per l'osservatorio di Dorpat, l'altro per quello di Berlino. Da Merz e Mahler vennero costruiti i due rifrattori di 38 centimetri d'apertura e 6m,8 di distanza focale, l'uno per l'osservatorio di Pulkowa in Russia, e l'altro per quello di Cambridge agli Stati Uniti d'America; e l'eliometro dell'osservatorio di Königsberg, il cui obiettivo ha 16 centimetri d'apertura e che per lungo tempo fu il più grande strumento di questa specie.

Il bellissimo flint perfettamente omogeneo e senza strie, con cui sono fabbricati i giganteschi obiettivi di Lerebours e Cauchoix a Parigi, viene somministrato dalle officine di Guinand in Isvizzera e Bontems in Francia. Fra i grandi obiettivi costruiti da Lerebours basta citare quello avente un'apertura di circa 305 millimetri, pel quale il governo francese fece costruire un sostegno che costava 12,500 franchi, e non ebbe poi bastante generosità di comperare, tal che venne poscia acquistato da Giacomo South per l'osservatorio di Kensington.

Finalmente è duopo citare i cannocchiali *dialittici* tanto brevi e non ostante tanto potenti per chiarezza, che Plössel costrusse pel primo a Vienna, ed i cui pregi vennero quasi nello stesso tempo riconosciuti da Rogers in Inghilterra. In essi la lente divergente di flint non trovasi a contatto con quella convergente di crown, ma bensì a circa la metà del tubo, in modo che ad un'enorme lente costosissima ed assai difficile ad aversi pura di flint viene sostituita un'altra di un diametro minore della metà di quella. Con tale processo resta ancora di molto accorciata la lunghezza del cannocchiale, e le imagini trovansi più distinte e dotate di maggior luce.

un oculare che ingrandisca molto, non avendosi a temere che la chiarezza dell'imagine sia troppo debole: se al contrario si osserva un astro di luce poco intensa, si fa uso di un oculare che ingrandisca meno.

Fin qui noi abbiamo supposto che l'oculare d'un cannocchiale sia formato da una semplice lente, che fa le veci di microscopio. Effettivamente l'oculare è formato da parecchie lenti, disposte in modo da conseguire certi vantaggi non ottenibili da una sola lente. Gli è così, per esempio, che si arriva ad ingrandire il *campo del cannocchiale*, vale a dire quella porzione di spazio d'onde, per una data posizione dell'istrumento, qualunque essa sia, si possono ricevere contemporaneamente dei raggi luminosi. Mediante una certa combinazione di lenti si possono costruire oculari che raddrizzano le imagini; i cannocchiali muniti di queste specie di oculari diconsi cannocchiali *terrestri*, perchè il raddrizzamento delle imagini non ha importanza che nell'osservazione degli oggetti terrestri. Per i cannocchiali astronomici conviene che il campo non sia molto limitato; ma non devesi cercare di ottenere il raddrizzamento delle imagini coll'aggiunta di alcune lenti, le quali sono sempre accompagnate dalla perdita di una porzione di luce derivante dall'astro osservato (*).

(*) L'introduzione di più lenti agli oculari astronomici, oltre ad avere di mira l'ingrandimento del campo del cannocchiale, serve a correggere eziandio la colorazione prodotta dall'oculare medesimo. Veramente si potrebbero costruire oculari acromatici colle stesse norme degli obiettivi, ma riesce più semplice raggiunger il medesimo scopo mediante più lenti del medesimo vetro opportunamente disposte. Il principio veramente sta in ciò, che i raggi attraversanti una lente vicino al suo lembo non vengono a raccogliersi esattamente nel foco della lente medesima, producendo ciò

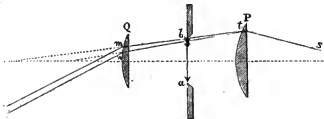



Fig. 52.

che si chiama l'*aberrazione sferica* della lente. Formasi quindi l'oculare mediante due lenti P, Q piano-convesse (fig. 52), l'una delle quali P

26. Per dar fine a quanto si riferisce ai cannocchiali, indicheremo la disposizione de' sostegni sui quali si collocano d'ordinario, e che permettono di dirigerli colla maggiore facilità verso quella regione del cielo che si vuole. La figura 56 rappresenta uno di tali sostegni A, di solida costruzione, appoggiato sul suolo per mezzo di tre rotelle B, B, B, e munito di due telai mobili C, D, il primo de' quali devo sopportare direttamente il cannocchiale E sulla sua faccia superiore. Il telajo C è unito al sostegno medesimo A mediante una specie di cerniera M M, intorno alla quale

trovasi più vicina all'obiettivo dell'altra Q. Un raggio di luce bianca $s\,t$, proveniente dall'obiettivo acromatico, giunto in t sulla lente P si decompone; e due raggi colorati di esso incontrando la lente Q in due punti m, n diversamente discosti dall'asse di questa lente, vengono diversamente rifratti da essa, per modo che la sua aberrazione sferica corregge l'aberrazione cromatica della lente P. Se le due lenti sono di crown-glass, vengono collocate l'una dall'altra ad una distanza eguale alla semisomma delle loro distanze focali. Quest'oculare, imaginato da Huyghens, dicesi *negativo*, e l'unica lente che equivale al sistema delle due che lo costituiscono avrebbe una distanza focale eguale al doppio prodotto delle distanze focali di quelle due lenti diviso per la loro somma.

Un altro oculare quasi acromatico, detto di Ramsden dal suo inventore, od anche *positivo*, è costituito da due lenti P, Q piano-convesse e rivolgenti le convessità l'una contro l'altra (fig. 53). Queste due lenti trovansi fra loro discoste di 2/3 della loro comune distanza focale, la quale è 4/3 di quella dell'unica lente che equivarrebbe al sistema da essa formato. Lo scopo di quest'oculare è di porgere un vasto campo e di rendere distintamente visibile un sistema di fili collocati in $m\,n$, vicinissimi alla lente P, del quale verrà tenuto discorso in appresso.

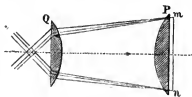



Fig. 53.

Dall'aberrazione sferica superiormente nominata deriva il bisogno di escludere, fra i raggi che sono rifratti dall'obiettivo, quelli che emergono vicini al suo lembo. Ciò si ottiene disponendo entro il tubo del cannocchiale alcuni dischi opachi ed aventi un foro nel mezzo, pel quale vengono a passare soltanto que' raggi che per la detta aberrazione sferica non altererebbero la nettezza dell'imagine. Nell'oculare negativo è d'uopo disporre uno di tali dischi $a\,b$ fra le due lenti e ad eguale distanza da ambedue (fig. 52).

Il raddrizzamento delle imagini nei cannocchiali terrestri si ottiene aggiungendo all'oculare astronomico due altre lenti convergenti, che hanno di solito la stessa distanza focale dell'unica lente dell'oculare astronomi-

può girare per modo da inclinarsi più o meno all'orizzonte. Il secondo telajo D è unito del pari al precedente per una cerniera $n\,n$, mediante la quale si può far variare ad arbitrio l'angolo compreso fra questi due telai. Il lato inferiore $o\,o$ del telajo D può scorrere lungo la faccia inclinata $p\,p$ del sostegno A; e questo movimento determina l'elevazione o l'abbassamento dell'estremità $n\,n$ del telaio C, che gira allora intorno alla cerniera M M. Due catene continue $q\,q$ sono disposte una per parte

co, e trovansi fra loro collocate a distanza eguale al doppio della distanza focale di ciascuna di esse. Se pertanto $a\,b$ (fig. 54) rappresenta l'imagine

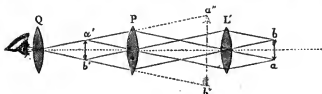



Fig. 54.

rovesciata prodotta dall'obiettivo del cannocchiale, ed L' l'oculare astronomico, ed in oltre se P, Q rappresentano le altre due lenti dell'oculare terrestre, è facile il riconoscere che i raggi luminosi, dopo avere attraversata la lente L', incontrando la lente P producono nel suo foco un'imagine $a'\,b'$ dell'oggetto, che è rovesciata rispetto all'imagine $a\,b$, epperò diretta rispetto all'oggetto medesimo: l'ultima lente Q è quella che fa le veci di microscopio e che ingrandisce l'imagine $a'\,b'$.

Anche nei cannocchiali acromatici terrestri si sostituisce comunemente alla lente, che serve di microscopio, un oculare acromatico positivo, per modo che tutto l'oculare terrestre viene ad essere costituito di quattro lenti, siccome lo mostra la figura 55. Le due lenti A, C servono a raddrizzare

Fig. 55.

l'imagine, la quale viene osservata mediante l'oculare acromatico positivo costituito dalle due lenti D, B, mettendo l'occhio vicino all'ultima di queste: cambiando la distanza delle due prime lenti dalle seconde mediante la vite di richiamo E, si cambia anche l'ingrandimento prodotto dall'oculare.

del sostegno A, e ciascuna di esse è attaccata ad una delle estremità del lato inferio e *o o* del telajo D. Un asse *r* terminato con

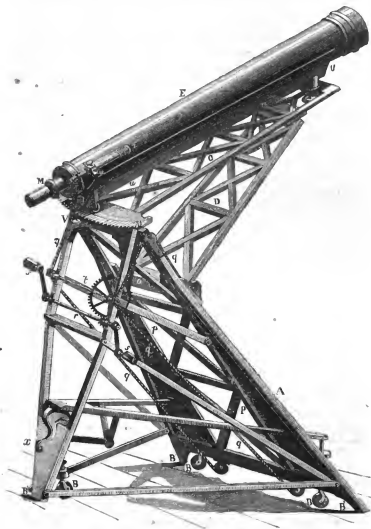



Fig. 56.

due manovelle *s*, *s* porta un rocchetto che imbocca in una ruota montata sopra un secondo asse *t*; questo secondo asse è munito alle sue due estremità di due rocchetti, le cui ale imboccano negli anelli delle due catene continue *q*, *q*. Agendo sopra una delle manovelle *s*, *s* si fanno ruotare gli assi *r*, *t*; il secondo asse fa scorrere le catene *q*, *q* nel verso della loro lunghezza; il lato *o o* del telajo D scorre sul piano inclinato *p p*, e questo telajo si solleva più o meno. Il cannocchiale E è adagiato in un pezzo cavo *u u*, il quale è attaccato al telajo C mediante una chiavarda situata verso l'estremità *n n* di questo telajo, e può facilmente girare attorno alla chiavarda stessa; questo pezzo *u u* porta all'altra sua estremità un bottone V, munito d'un rocchetto, che imbocca nel lembo dentato del telajo C; per modo che, facendo girare sopra sè stesso il bottone V, si fa muovere il pezzo *u u* ed il cannocchiale sulla faccia superiore del telajo C, attorno alla chiavarda che trovasi verso l'estremità *n n* di questo telajo. L'osservatore, tenendo sempre l'occhio all'oculare del cannocchiale, può dunque facilissimamente cangiare la direzione di questo strumento, agendo con una mano sull'una delle manovelle *s*, e coll'altra mano sul bottone V: colla manovella fa alzare ed abbassare il piano del telajo C, e col bottone V può variare la direzione del cannocchiale su questo piano stesso.

L'intero sostegno di cui abbiamo indicata la disposizione deve naturalmente essere collocato in maniera tale che il cannocchiale trovisi press'a poco diretto verso quel punto del cielo dove si vogliono fare le osservazioni. A quest'uopo servono le rotelle B, B, B, mediante le quali lo si può muovere come meglio aggrada; ma quando sia situato nell'opportuna posizione, è necessario che non ritenga più la mobilità derivante dalle rotelle B, B, B, affinchè il cannocchiale rimanga ben fisso, qualunque direzione gli si dia mediante le manovelle *s* ed il bottone V. Gli è perciò che le rotelle B, B, B non sono invariabilmente unite al sostegno A; potendole invece sollevare od abbassare indipendentemente da esso, sollevando od abbassando la leva *x* mediante l'impugnatura colla quale questa viene a terminare. Sollevate in questo modo, le rotelle non toccano più il suolo, il sostegno s'appoggia allora sui tre piedi B′, B′, B′, che sono ad esse vicine, e l'intero apparecchio acquista una stabilità molto maggiore.

D'ordinario trovasi adattato al tubo del cannocchiale E, che serve alle osservazioni, un altro piccolo cannocchiale *z*, chia-

mato *cercatore*, il quale è destinato a facilitare l'operazione di dirigere il cannocchiale E verso l'astro che si vuol osservare. Il campo di questo piccolo cannocchiale è molto maggiore di quello del grande, per modo che, mettendo l'occhio al suo oculare, scorgesi un'estensione molto più considerevole di cielo, e si può scoprir l'astro che si cerca anche quando si è alquanto lungi dall'aver diretto il grande cannocchiale esattamente verso quest'astro. Riconoscesi allora come si deve muovere il cannocchiale per dargli l'opportuna direzione.

27. **Telescopii.** — La riflessione della luce sopra gli specchi sferici dà luogo alla produzione delle imagini, del pari che il suo passaggio attraverso i vetri lenticolari. Se un oggetto A B (fig. 57) è collocato davanti uno specchio concavo M, i raggi

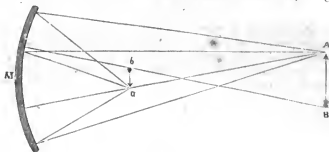



Fig. 57.

luminosi emanati dai differenti punti di quest'oggetto, che cadono sulla superficie dello specchio, vi sono riflessi secondo diverse direzioni. I raggi partiti dal punto A, dopo la riflessione, hanno direzioni che passano molto sensibilmente per un medesimo punto *a*; quelli che partono dal punto B, passano egualmente per un punto *b*; ed è lo stesso de' raggi che derivano da tutti gli altri punti dell'oggetto A B: si produce quindi in *a b* un'imagine di quest'oggetto. Dietro ciò si comprende come uno specchio sferico concavo possa venir sostituito all'obiettivo de' cannocchiali. Combinando uno specchio di questo genere con un oculare destinato ad osservare l'imagine che produce, si forma uno strumento che può adempire lo stesso ufficio d'un cannocchiale, ed a cui si dà specialmente il nome di *telescopio*.

Ma sorge qui una difficoltà intorno alla posizione che ha l'imagine *a b* tra l'oggetto osservato A B e lo specchio, sul quale vengono a riflettere i raggi luminosi. L'osservatore non può

più disporsi con un oculare in guisa da ricevere direttamente questi raggi, dopo il loro passaggio per l'imagine *a b*; poichè in tal modo egli si frapporrebbe tra l'oggetto A B e lo specchio, ed impedirebbe di conseguenza che i raggi giungessero allo specchio. Ecco le principali disposizioni che s' imaginarono per ovviarvi.

Gregory, inventore del telescopio, nel 1663, impiegò un secondo specchio concavo N (fig. 58), di piccole dimensioni tras-

Fig. 58.

versali, destinato a ricevere i raggi luminosi dopo il loro passaggio per l'imagine *a b*, ed a rifletterli attraverso un'apertura praticata nel mezzo dello specchio M, in guisa da produrre un' altra imagine *a' b'*: un oculare O, collocato dietro questa seconda imagine, serve ad ingrandirla e ad osservarne i particolari. Mediante questa disposizione, il telescopio s'impiega assolutamente allo stesso modo d'un cannocchiale; l'occhio che vi è applicato guarda nella direzione dell'oggetto osservato. Di più è facile il vedere che l' imagine di quest'oggetto non è rovesciata, siccome sarebbe stata senza il secondo specchio N.

Newton, senza conoscere il telescopio di Gregory, imaginò egualmente, nel 1666, un mezzo di osservare l'imagine prodotta da uno specchio concavo. Dispose a quest'effetto uno specchio piano N (fig. 59), inclinato di 45° all'asse dello specchio M,

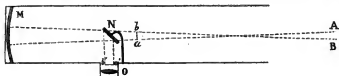



Fig. 59.

in guisa da riflettere lateralmente i raggi luminosi partiti da questo specchio. Questi raggi, che altrimenti avrebbero formato l'imagine *a b*, producono un imagine *a' b'* che si può osservare mediante l'oculare O adattato al tubo del telescopio. Questo telescopio è però meno comodo di quello di Gregory, poichè per

farne uso è d'uopo guardare secondo una direzione perpendicolare a quella dell'oggetto che si osserva (*).

Herschel, che tanto s'è giovato del telescopio, adottò una disposizione diversa dalle precedenti per telescopii di grandi dimensioni. La riflessione della luce sopra una superficie metallica liscia non si produce senza una perdita notevolissima di questa luce: era dunque desiderabile, per non diminuire troppo la chiarezza delle imagini, che si potesse far senza del secondo specchio impiegato da Newton e Gregory; ed è quanto fece Herschel, inclinando alquanto lo specchio curvo rispetto al tubo che gli era adattato. Con questo mezzo l'imagine d'un oggetto collocato nella direzione del tubo veniva portata un po' da un lato, come si vede nella figura 60; e potevasi osservare mediante

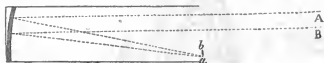



Fig. 60.

un oculare, disponendosi per modo da volgere le spalle all'oggetto. È però chiaro che la testa dell'osservatore viene a nascon-

(*) Poco diversa dalla disposizione suggerita da Gregory è quella del telescopio di Cassegraîn. In essa al piccolo specchio concavo venne sostituito un piccolo specchio convesso N (fig. 61), collocato davanti all'imagine $a b$, che dovrebbe essere formata dal grande specchio M. I raggi luminosi emanati dall'oggetto, e riflessi dallo specchio M prima di formare l'imagine $a b$, vengono riflessi dallo specchio N; se ne diminuisce quindi la convergenza, e si forma l'imagine reale e rovesciata in $a' b'$, analogamente, rispetto alla posizione, a quanto avviene nel telescopio gregoriano. Con questa disposizione si ha il vantaggio che il telescopio ha una lunghezza minore del doppio della distanza focale dello specchio N: e si ritiene anche generalmnete che si ottenga maggior luce e l'imagine risulti più distinta a cagione della convessità dello specchio N, che corregge in parte l'aberrazione dello specchio concavo M.

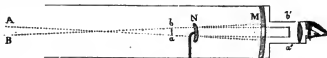



Fig. 61.

dere una porzione dell'apertura del tubo, arrestando per conseguenza una parte di luce, che altrimenti potrebbe cadere sulla superficie dello specchio curvo; così questa disposizione non è vantaggiosa che pei telescopii a larga apertura, nei quali la perdita di luce prodotta in questo modo è minore di quella che produrrebbe una seconda riflessione, come avviene nei telescopii di Gregory e di Newton.

Il più gran telescopio di cui Herschel siasi servito era formato da uno specchio di $1^m,47$ di diametro. La distanza focale

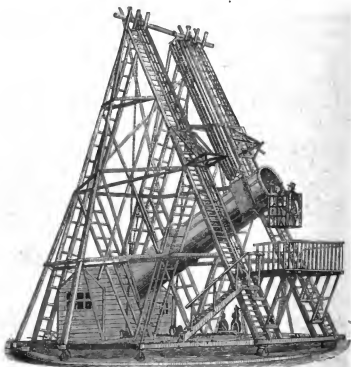



Fig. 62.

di questo specchio era di 12^m; il tubo aveva per conseguenza questa lunghezza, affinchè l'osservatore potesse osservare l'imagine collocandosi alla sua estremità e servendosi d'un oculare

tenuto in mano. La grandezza dell'apertura di questo strumento permise ad Herschel di spingere l'ingrandimento sino a 6000 volte. Di leggieri si comprende che un telescopio di cotali dimensioni, il cui solo specchio pesava più di 1000 chilogrammi, assai difficilmente poteva maneggiarsi: laonde Herschel trovossi costretto a stabilire un immenso apparecchio d'alberi, di puleggie e di cordami, per dare al suo telescopio l'inclinazione opportuna a ciascheduna osservazione. Quest'armatura (fig. 62) era in oltre tutta montata sopra rotelle, per mezzo delle quali potevasi orientare come si voleva, facendola muovere tutta insieme coll'aiuto di un verricello. Una specie di balcone sospeso all'estremità del tubo era destinato a ricevere l'osservatore (*).

(*) Mirabile è l'attività manifestata da Herschel nella costruzione dei telescopii, giacchè uscirono da lui non meno di 200 riflettori newtoniani di 6 piedi di distanza focale ($1^m,83$); 150 di 10 piedi ($3^m,05$) ed 80 di 20 piedi ($6^m,10$). Fu nel 1785 che si accinse alla costruzione del gigantesco telescopio a *vista di fronte* (*front view*), le cui dimensioni furono date superiormente.

Anche Ramage d'Aberdeen costrusse diversi telescopii newtoniani di gran distanza focale e fortissimo ingrandimento, ed uno a vista di fronte nel 1820 per l'osservatorio di Greenwich, il cui specchio aveva la distanza focale di 25 piedi ($7^m,62$) e 15 pollici ($0^m,37$) d'apertura. In Italia per la costruzione di telescopii si distinse il cavaliere Amici, già da più anni stabilito a Firenze.

Dopo la costruzione di quelle grandiose lenti, di cui sopra fu detto, pareva assicurato il trionfo dei cannocchiali diottrici sopra i telescopii a riflessione. Ma in questi ultimi anni due personaggi, che per la loro posizione sociale pareva dovessero trovarsi stranieri a qualsivoglia genere di attività industriale, il conte De Rosse a Parsonstown, vicino a Dublino, e il signor Lassel di Starfield, vicino a Liverpool, fecero, per solo amore della scienza, costruire sotto la loro immediata direzione e dietro le loro proprie idee dei telescopii riflettori di colossali dimensioni. Quello di Lasset non ha che 61 centimetri d'apertura e 6 metri di distanza focale; ma il telescopio di Rosse ha 6 piedi inglesi d'apertura ($1^m,83$) e 50 piedi (15^m) di distanza focale.

Fra i diversi telescopii di cui è provveduta la specola di Milano sono specialmente da annoverarsi due gregoriani, di Dollond l'uno, l'altro di Short, ed uno newtoniano di Herschel, di 7 piedi ($2^m,27$) di distanza focale, e di 6 pollici ($0^m,17$) di apertura, fornito di sei oculari, le cui distanze focali variano da 8 linee (millimetri 18) ad una linea (millimetri 2 1/4); per cui può sopportare un ingrandimento maggiore di 1000 volte.

Trovasi pure in possesso di un altro telescopio newtoniano del cavaliere Amici, il cui specchio è di 27 centimetri di diametro e di $3^m,60$ di distanza focale. Questo grandioso strumento è collocato in una camera appositamente eretta, a base circolare, ed è sostenuto da un'armatura pa-

Dalle esperienze di Herschel risulta che, sopra 1000 raggi luminosi che cadevano sugli specchi dei telescopii, soltanto 673

rallelepipeda (fig. 63), costituita come da quattro telai A B C D, A' B' C' D', A B B' A', D C C' D', dei quali i due primi sono di figura quadrata; e

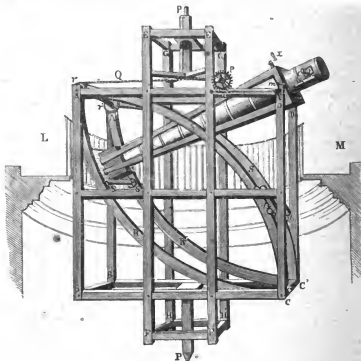



Fig. 63.

tutta la costruzione può ruotare intorno ad un asse verticale, essendo i telai medesimi, mediante le quattro aste E F, G H, E' F', G' H', congiunti coi due perni P, P, l'uno dei quali gira nel centro del tetto mobile, l'altro nel centro del pavimento. L'osservatore ponesi sul ballatojo L M, eretto in alto tutto intorno alla camera; e quivi, mentre comodamente può osservare all'oculare *c*, può anche muovere in qualunque maniera il telescopio e dargli l'opportuna posizione, per modo che venga a dirigersi a quel punto del cielo che vuole; giacchè in primo luogo, mediante una vite di pressione, si può fissare tutto l'apparato in una parte qualunque della ringhiera di ferro che cinge il ballatojo, e che è indipendente dal ballatojo medesimo, essendo collegata direttamente colle pareti della camera;

venivano riflessi; mentre, se questi 1000 raggi cadevano sopra una lamina di vetro a facce parallele e dello spessore degli oculari di forte ingrandimento, ne passavano 948 attraverso questa lamina. Nel primo caso la perdita era di 327 raggi, nel secondo caso di 52. Da ciò si comprende che per ottenere con un telescopio l'egual ingrandimento che si ottiene con un cannocchiale, è indispensabile dare allo specchio del telescopio dimensioni molto maggiori di quelle dell'obiettivo del cannocchiale.

STRUMENTI CHE SERVONO ALLA MISURA DEGLI ANGOLI

28. Per misurare un angolo si imagini una circonferenza di cerchio descritta nel suo piano ed avente il centro nel suo vertice; la lunghezza dell'arco di cerchio compreso tra i due lati dell'angolo, valutata mediante un arco particolare preso per unità, serve di misura all'angolo proposto. Generalmente si adotta per unità d'arco la trecentosessantesima parte dell'intiera circonferenza; questa unità dicesi *grado*, e l'angolo che gli corrisponde al centro della circonferenza è *l'angolo di un grado.* Quando si vuol determinare la lunghezza d'un arco di cerchio mediante l'unità che abbiamo indicata, accade raramente che si trovi un numero esatto di gradi; di solito rimane un arco minore d'un grado, che fa d'uopo valutare in frazioni di gra-

ed in secondo luogo l'osservatore, agendo sulla manovella *m*, può far ruotare il telescopio intorno ad un asse orizzontale passante per D e D', in guisa da dargli l'opportuna inclinazione all'orizzonte. A tal fine la manovella *m* porta una vite perpetua *n*, le cui spire imboccano nei denti di una ruota *p*, sul cui asse si avvolgono le funi Q, Q', le quali, passando per le gole delle carrucole *r*, *r'*, s'adagiano nelle scanalature praticate nelle guide arcuate a cerchio A R C, A' R' C', i cui centri sono rispettivamente D, D': le funi Q, Q' vanno infine a congiungersi colle ruotelle *s*, *s'* che possono scorrere sulle guide medesime, portando il fondo del telescopio. Ad evitare poi che il telescopio venga a cadere, scorrendo le ruotelle *s*, *s'* in basso sulle guide A R C, A' R' C', il telescopio stesso, mediante altre funi, porta i due contrappesi *t*, *t'*, anch'essi muniti di ruotelle che scorrono in verso opposto del fondo del telescopio sulle altre guide A S C, A' S' C', pure arcuate a cerchio, i cui centri sono rispettivamente B, B'. Oltre questi movimenti, l'osservatore può produrne altri piccoli nel telescopio, agendo, mediante un'altra manovella *x*, sopra una vite a piccolissimo passo.

Questo ingegnoso e semplicissimo meccanismo venne imaginato dall'astronomo Frisiani, ed è a desiderarsi che venga messo completamente in attività, chè certo non mancherebbero gli osservatori.

do. Per ciò il grado si divide in sessanta parti eguali, ciascuna delle quali dicesi un *minuto;* il minuto si suddivide del pari in sessanta parti eguali, ciascuna delle quali dicesi *un secondo;* finalmente gli archi minori di un secondo si valutano in frazioni decimali d'un secondo. Si usano i segni ° ′ ″ per indicare i gradi, i minuti ed i secondi; per cui a rappresentare il valore di un arco di 15 gradi, 28 minuti, 34 secondi e 78 centesimi di secondo, si scrive 15° 28′ 34″, 78.

È importante il formarsi un'idea alquanto netta della grandezza d'un angolo di un grado e delle sue suddivisioni: l'angolo di un grado è rappresentato dalla figura 64; gli angoli di

Fig. 64.

un minuto o di un secondo sono troppo piccoli per poterli similmente rappresentare, ma vi suppliremo dicendo che una linea di un decimetro di lunghezza, perchè sia veduta sotto un angolo di un minuto, è d'uopo che si trovi a circa 343 metri di distanza dall'osservatore, e che, per poterla vedere sotto un angolo di un secondo, bisogna che sia lontana dall'osservatore più di 20 chilometri (*).

Nella misura degli angoli mediante gli strumenti che attualmente si posseggono gli astronomi si possono rare volte accertare di commettere un errore minore d'un minuto secondo. Soltanto nella misura di angoli piccolissimi può spingersi più oltre l'esattezza; giacchè allora, ricorrendo a mezzi speciali, de' quali parleremo più tardi, gli angoli possono essere valutati con un errore minore di un decimo di secondo.

Per misurare l'angolo formato dai raggi visuali terminanti a due punti occorrono due operazioni. La prima consiste nel far coincidere due raggi di un cerchio graduato coi due lati dell'angolo, il che si ottiene dirigendo le visuali successivamente nella direzione di ciascuno di questi lati; la seconda ha per oggetto

(*) Alla fine del secolo scorso, quando venne proposta l'adottazione del sistema metrico come sistema universale di pesi e misure, venne altresì proposta la divisione centesimale della circonferenza; anzi fu questa come il fondamento a tutto il sistema. Per essa la circonferenza del cerchio venne divisa in 400 gradi, ciascun grado in 100 minuti, ciascun minuto in 100 secondi, ecc. Una retta di un decimetro di lunghezza, per essere veduta sotto un angolo di un grado, di un minuto o di un secondo di questa divisione, dovrebbe trovarsi alle distanze di metri 6, 37, di metri 382, e di circa 23 chilometri dall'osservatore.

di valutare il numero di gradi, minuti e secondi contenuti nell'arco di cerchio compreso tra questi due raggi. Ci occuperemo dunque nello studiare 1.° i mezzi per dirigere una visuale, 2.° la lettura dell'angolo.

29. **Mezzi per dirigere una visuale.** — I primi mezzi adoperati per dirigere una visuale nelle osservazioni astronomiche consistevano nell'uso delle *diottre a traguardi*. Le fig. 65

Fig. 65.

e 66 rappresentano due di queste diottre, le quali consistono in regoli muniti alle due estremità di lastrette denominate *traguardi*, destinate a segnare se la loro direzione è la medesima della linea retta terminante all'oggetto che si mira. A tal fine si pone l'occhio vicino alla fessura di uno dei traguardi (fig. 65), e si dirige la diottra per modo che l'oggetto mirato possa esser veduto attraverso la fessura dell'altro traguardo.

Affinchè la direzione data così alla diottra non lasci troppa incertezza è necessario che le fessure dei traguardi siano sottilissime, altrimenti si potrebbe produrre nella diottra un considerevole spostamento senza che l'oggetto mirato cessi dall'esser veduto attraverso le fessure dei due traguardi. Ma la poca larghezza della fessura del traguardo più lontano dall'occhio fa sì che difficilmente si discerna l'oggetto che si osserva, e non siasi sicuro di mirare precisamente il punto che si vuole dell'oggetto; per cui si sostituisce al secondo traguardo una semplice asticella sottilissima (fig. 66). Ponendo l'occhio vicino alla

Fig. 66.

fessura del traguardo A, si dirige la diottra in modo che la piccola asticella B sembri proiettarsi sul punto che si vuol mirare. Gli è chiaro che quest'asticella potrà costruirsi sottile quanto si vuole senza nuocere alla facilità dell'operazione; chè anzi più sarà sottile, e meglio vedrassi l'oggetto verso cui si dirige il raggio visuale.

Nella fig. 67 si vede come una diottra a traguardi venga adattata ad un cerchio graduato destinato alla misura degli angoli. La diottra, mobile intorno al centro del cerchio, di cui qui venne soltanto conservata la quarta parte, può essere successivamente diretta a seconda dei diversi raggi del cerchio. Quando si ha mirato un punto mediante la diottra, questa indica sul lembo graduato l'estremità dell'arco di cerchio che termina al raggio visuale diretto dal centro del cerchio verso questo punto. Un tal mezzo per dirigere una visuale applicato al cerchio fu in uso per le osservazioni astronomiche sin verso la fine del decimosettimo secolo. Lo strumento rappresentato colla figura 67 è uno di quelli di cui fece uso il celebre astronomo Tycho Brahé nel suo osservatorio di Uranienborg (fabbricato nell'isola Hween, all'ingresso del mar Baltico).

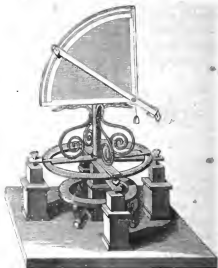



Fig. 67.

Fig. 68.

Ancora attualmente si fa uso dei cerchi graduati muniti di diottra a traguardi, a cui si dà il nome di *grafometri* (fig. 68); ma questi strumenti non vengono adoperati che nelle operazioni di agrimensura, per le quali nella misurazione degli angoli non si ha bisogno di raggiungere una grande esattezza. I traguardi fissati alle estremità di ciascuna diottra sono disposti in modo che le visuali si dirigano siccome colla diottra della figura 66; con questa differenza per altro, che

ciascun traguardo porta insieme una fessura stretta ed un'asticella sottilissima formata da un crine teso, affinchè si possa guardare indifferentemente all'una o all'altra delle due estremità della diottra. Da circa duecento anni scomparvero affatto le diottre a traguardi dagli istrumenti destinati alle osservazioni astronomiche, essendosi ad esse sostituiti i cannocchiali, mediante i quali si può giungere a risultati molto più esatti.

30. La sostituzione di un cannocchiale ad una diottra munita di traguardi non sembra a tutta prima che possa fornire maggior precisione, siccome mezzo di dirigere una visuale; giacchè, quando un cannocchiale è diretto verso un oggetto, si possono far subire leggeri cambiamenti alla sua direzione in differenti versi senza cessar perciò di discernere il punto dell'oggetto che più specialmente si ha di mira. Ciò è quanto accadrebbe infatti se i cannocchiali, quali li abbiamo descritti, non avessero ricevuto una delle più importanti modificazioni, per la quale divennero un mezzo di dirigere visuali incomparabilmente più preciso delle diottre. Tale modificazione consiste nell'introduzione d'un *reticolo* nel cannocchiale, nello stesso luogo ove formasi l'imagine dell'oggetto osservato, prodotta dall'obiettivo. Il reticolo non è altro che una piccola piastrina di metallo, avente un foro circolare, attraverso al quale trovansi tesi due fili sottilissimi disposti fra di loro ad angolo retto (fig. 69). Quando si vuol mirare un punto particolare d'un oggetto, si dirige il cannocchiale in modo che l'imagine di questo punto coincida col punto d'incontro dei due fili del reticolo. Togliendo anche di pochissimo il cannocchiale da questa posizione, l'imagine del punto traguardato si allontana dal punto d'incrociamento dei fili; per cui si vede che la direzione che deve prendere il cannocchiale per stabilire la coincidenza dei due punti rimane perfettamente determinata.

Fig. 69.

Completato così un cannocchiale coll'aggiunta di un reticolo, resta ancora a sapersi quale, fra tutte le rette che si possono imaginare condotte per entro al cannocchiale, può essere considerata siccome la linea della visuale, vale a dire quale corrisponda alla retta condotta tra le fessure dei due traguardi d'una diottra (fig. 65): ciò che non sarà molto difficile di trovare, esaminando l'andamento dei raggi luminosi nell'interno d'un cannocchiale, dietro i principii antecedentemente richiamati (23). Essendo il cannocchiale diretto per modo che l'imagine d'un punto luminoso A (fig. 70) coincida colla croce B dei fili del

reticolo, tutti i raggi che partono dal punto A, e che attraversano l'obiettivo, convergono in appresso verso il punto B. Ma fra que-

Fig. 70.

sti diversi raggi ne esiste uno che non prova deviazione alcuna, ed è quello che passa pel centro ottico *o* dell'obiettivo (20). Il raggio A *o*, che non è deviato, passa, come tutti gli altri, pel punto B; per cui i tre punti A, *o*, B sono in linea retta. Ma i punti *o*, B appartengono al cannocchiale: mirare il punto A è come dirigere la retta B *o* verso questo punto; quindi B *o* rappresenta la linea della visuale del cannocchiale. A questa retta si dà il nome di *asse ottico* del cannocchiale; per cui si può dire che l'asse ottico di un cannocchiale è la linea retta che congiunge il centro ottico dell'obiettivo col punto d'incontro dei fili del reticolo.

Bisogna guardarsi dal confondere l'asse ottico coll'asse di figura del tubo, ovvero colla retta che congiunge i due centri dell'obiettivo e dell'oculare. La direzione dell'asse ottico è affatto indipendente dalla posizione dell'oculare, che potrebbe essere tenuto in mano siccome un semplice microscopio, senza che ne derivi alcuna modificazione nella linea della visuale del cannocchiale. Devesi osservare in oltre che basta spostare il reticolo trasversalmente nell'interno del cannocchiale per cangiare la direzione dell'asse ottico, rapporto al tubo dell'istrumento, e condurlo così a soddisfare a certe condizioni, a seconda dei casi nei quali il cannocchiale è usato come mezzo per dirigere una visuale. A tale effetto si dispone sovente il reticolo per modo che si possa sottomettere ad un piccolo movimento trasversale in due differenti versi mediante viti, le cui teste sporgono fuori del tubo dello strumento.

È facile il vedere come un cannocchiale munito di reticolo somministri un mezzo di dirigere una visuale assai più esatto d'una diottra a traguardi. In una diottra la linea della visuale è determinata dalle fessure dei due traguardi; la larghezza che devesi necessariamente dare a queste fessure, per poter discernere l'oggetto mirato, fa sì che la linea della visuale non sia che grossolanamente determinata, e che la sua direzione possa

variare d'un angolo notabile senza che per questo cessi dal passare per le due fessure. È lo stesso quando ad una delle due fessure sia stata sostituita un'asticella sottile o un crine teso, la cui grossezza non può essere di troppo diminuita, per poterla facilmente discernere, guardando attraverso la fessura del traguardo, che trovasi all'altra estremità della diottra. Al contrario in un cannocchiale munito d'un reticolo la linea di fiducia è determinata 1.° dal centro ottico dell'obiettivo, che è un punto senza dimensioni, un punto matematico; 2.° dalla croce dei fili del reticolo, che presenta dimensioni trasversali sommamente piccole, poichè i fili dovendo essere osservati con un microscopio (l'oculare), possono essere sottilissimi.

Talvolta per formare il reticolo si prendono dei fili di ragnatela; in tal caso si scelgono fra i fili che compongono una tela di ragno quelli che si dirigono dal centro alla circonferenza, siccome sono O A, O B, O C (fig. 71); giacchè questi sono molto più forti degli altri. Più comunemente però si adoperano fili di platino ottenuti col processo di Wollaston. Il qual processo consiste nel far passare alla filiera un pezzo di platino coperto d'argento, sino a che il filo abbia raggiunto quella sottigliezza maggiore che comporta questo mezzo meccanico, e nel disciogliere in appresso lo strato d'argento che ricopre il platino, immergendo il filo nell'acido nitrico (*).

Fig. 71.

La sostituzione de' cannocchiali muniti di reticolo alle diottre a traguardi, che ha tanto contribuito ad aumentare l'esattezza delle osservazioni, venne imaginata nel 1667 dagli astronomi francesi Picart ed Auzout (**).

(*) I fili di platino ottenuti col processo di Wollaston, in confronto dei fili organici, presentano in oltre il vantaggio di non allungarsi od accorciarsi coll'aumentare o col diminuire dell'umidità; in guisa che, quando siano ben tesi, non sono poscia soggetti a sensibile incurvamento. A questi fili può darsi tanta sottigliezza che il loro diametro risulti minore anche di 1/1200 di millimetro.

(**) L'onore di questo importantissimo perfezionamento venne da Derham rivendicato in favore del distinto e sfortunato giovine suo compatriota Gascoigne, mediante la corrispondenza di questi con Crabtree ed Horrockes, da esso lui posseduta, per la quale non rimane più dubbio che, verso il 1640, Gascoigne non abbia applicati a quadranti ed a sestanti cannoc-

51. Abbiam detto (23) che l'oculare d'un cannocchiale devesi poter avvicinare più o meno all'obiettivo, a seconda della vista dell'osservatore. Quando un cannocchiale è munito d'un reticolo, conformemente a quanto abbiam detto nel paragrafo precedente, bisogna che anche il reticolo possa avvicinarsi più o meno all'obiettivo, per poterlo portar sempre nella posizione ove producesi l'imagine dell'oggetto osservato. A tale scopo il reticolo A (fig. 72)

Fig. 72.

è fissato ad un'estremità del tubo B C, che s'introduce a sfregamento nel tubo principale D del cannocchiale, e che può essere più o meno spinto entro questo tubo; d'altra parte l'oculare E F (formato da due lenti siccome abbiam detto al numero 25) può pure spingersi più o meno entro al tubo B C, in modo da potersi disporre a diverse distanze dal reticolo. Volendo far uso d'un cannocchiale di questo genere, devesi cominciare dal ridurre tale la distanza dell'oculare dal reticolo che nettissimamente discernansi i fili; in appresso tutte le volte che dirigesi il cannocchiale verso un nuovo oggetto, spingesi più o meno il tubo B C entro al tubo D, senza cangiare le relative po-

chiali *muniti di fili nel foco comune delle due lenti;* che anzi imaginò perfino d'illuminare il campo del cannocchiale per mezzo di luce artificiale, *comodissima quando la luna non presenta abbastanza chiarezza, o che non se ne ha sufficientemente per altra parte.* Siffatte innovazioni erano state francamente comunicate da lui stesso a Crabtree, e da quest'ultimo all'amico Horrockes, il più vano di tutti gli astronomi inglesi; ed ambedue espressero la loro ammirazione pei grandi progressi che si rendevano possibili nell'arte del fare osservazioni, a cagione di queste ed altre scoperte. Frattanto Gascoigne perì a 23 anni alla battaglia di Marston Moore; e l'immatura ed improvvisa morte di Horrockes, in età ancor meno avanzata, fece obliare per un certo tempo la scoperta del primo di questi astronomi. Essa ricomparve, o venne fatta di nuovo nel 1667 da Picard ed Auzout, dopo di che l'uso si fece universale. Anche prima di Gascoigne (nel 1635), Morin aveva proposto di sostituire il telescopio ai semplici traguardi delle diottre; ma non sembra che avesse avuto l'idea di applicare nel foco del cannocchiale i fili, coi quali si può produrre esattamente la coincidenza dell'imagine di una stella, mentre è per questo appunto che il cannocchiale presenta tanti vantaggi nella pratica (J. Herschel, *Outlines of Astronomy.* pag. 92).

sizioni dell'oculare e del reticolo, finchè discernasi distintissimamente l'imagine dell'oggetto prodotta entro il cannocchiale. Egli è chiaro infatti che il reticolo e l'imagine essendo ambedue veduti distintamente mediante l'oculare, devono per conseguenza trovarsi collocati alla medesima posizione nel cannocchiale.

Quando si osserva un oggetto di pieno giorno con un cannocchiale munito d'un reticolo, veggonsi facilissimamente i fili in tutta l'estensione del campo; ma non è lo stesso nelle osservazioni di notte, quando, per esempio, osservasi una stella. Da ciò risulta che se, dietro un leggero movimento dato al cannocchiale, la stella cessa d'essere veduta, non si può sapere se la sua imagine è nascosta dalla croce dei fili, ovvero se trovasi soltanto dietro uno dei due fili, o ancora se sia uscita dal campo del cannocchiale. Di più, non vedendo i fili nello stesso tempo della stella, non si può sapere in qual verso debbasi muovere il cannocchiale per condurre l'imagine della stella a coincidere col punto d'incontro dei fili. Per togliere questi inconvenienti che presentano le osservazioni notturne si illuminano i fili del reticolo, sia projettando sopra di essi la luce d'una lampada o di una candela, che si fa entrare mediante un'apertura praticata nel tubo del cannocchiale, e che è riflessa da un piccolo specchio disposto obliquamente nell'interno di questo tubo; sia projettando nel cannocchiale della luce diffusa, attraverso l'obiettivo; sia rendendo i fili medesimi luminosi mediante una corrente elettrica che li attraversi.

32. Un cannocchiale adattato ad un cerchio graduato, il quale serva alla misura degli angoli, deve avere il proprio asse ottico parallelo al piano del circolo. Se fosse diversamente, il piano del cerchio non sarebbe parallelo al piano dell'angolo che si vuol misurare, quando l'asse ottico del cannocchiale fosse stato diretto secondo uno dei lati di quest'angolo, e ne risulterebbe un errore nella sua misura. Per assicurarsi se questa condizione è soddisfatta si fa uso di un apposito cannocchiale, chiamato *cannocchiale di prova*. Questo cannocchiale (fig. 73), che

Fig. 73.

è parimente munito d'un reticolo, presenta, verso le due estremità del suo tubo, due specie di colletti sporgenti a contorno

quadrato, ed aventi esattamente le medesime dimensioni. Il reticolo di questo cannocchiale è collocato per modo che il suo asse ottico risulti parallelo agli spigoli del prisma quadrato, le cui basi sono come rappresentate dai due colletti sporgenti. Per assicurarsi di questo parallelismo si pone il cannocchiale sopra una superficie piana, in modo che vi si appoggi con due facce corrispondenti dei suoi due colletti, e si osserva il punto d'un oggetto lontano, che trovasi allora nella direzione dell'asse ottico; in appresso si rivolge il cannocchiale, facendolo successivamente appoggiare su tutte le altre facce de' suoi colletti, ed in ciascuna di queste nuove posizioni l'asse ottico deve sempre poter dirigersi verso il medesimo punto dell'oggetto lontano, non cessando i due colletti perciò dal toccare la superficie piana, sulla quale vennero posti. Si comprende da ciò che, per riconoscere se l'asse ottico d'un cannocchiale adattato ad un cerchio sia esattamente parallelo al piano del cerchio, basta disporre il cannocchiale di prova sul cerchio, avendo cura di appoggiarnelo pe' suoi due colletti, ed assicurarsi se il suo asse ottico e quello del cannocchiale adattato al cerchio possono venir diretti verso un medesimo punto lontanissimo. Se per questa prova si riconosce che l'asse ottico del cannocchiale non è parallelo al piano del cerchio, si dovrà smuovere il reticolo trasversalmente, secondo che sarà indicato dall'esperienza, finchè siasi ottenuto questo parallelismo.

È indispensabile che i pezzi che uniscono il cannocchiale al centro del cerchio, e che sono mobili con esso, portino un indice vicinissimo alle divisioni del lembo, e destinato a stabilire la corrispondenza tra esse ed il cannocchiale. Se un cerchio fosse munito di due cannocchiali, ciascun de' quali dovesse essere diretto secondo uno dei lati dell'angolo da misurarsi, il valore dell'angolo sarebbe somministrato dal numero delle divisioni del lembo compreso tra gli indici dei due cannocchiali. Ma sarebbe per ciò necessario che la corrispondenza tra l'asse ottico di ciascun cannocchiale e l'indice che l'accompagna potesse venire stabilita e rettificata con grande esattezza; altrimenti si arrischierebbe di commettere notevoli errori, perdendo così tutti i vantaggi risultanti dalla sostituzione dei cannocchiali alle diottre a traguardi. Per la difficoltà di eseguire la indicata rettificazione, ed a fine di evitare gl'inconvenienti derivanti dal non essere rettificato l'istrumento, si adatta al cerchio un solo cannocchiale, il cui asse ottico si dirige successivamente a seconda di ciascuno dei due lati dell'angolo da misurarsi. È

chiaro che l'asse ottico del cannocchiale, passando dalla direzione del primo lato dell'angolo a quella del secondo lato, percorre precisamente quest'angolo; l'indice che si muove col cannocchiale ruota necessariamente della stessa quantità, qualunque sia la sua posizione relativamente all'asse ottico; per cui basta numerare le divisioni percorse da quest'indice sul lembo per aver la misura dell'angolo richiesto. Pertanto, mediante un sol cannocchiale invece di due, si può comunque disporre l'indice relativamente ai pezzi che l'accompagnano nel suo movimento, senza che occorra nessuna rettificazione nella corrispondenza dell'indice medesimo coll'asse ottico. È superfluo l'aggiungere essere necessario che il cerchio rimanga perfettamente immobile, mentre il cannocchiale si fa passare dalla direzione del primo lato dell'angolo a quella del secondo lato.

Spesso, nei grandi strumenti degli osservatorii, il cannocchiale è invariabilmente fisso al lembo graduato, che può ruotare con esso intorno al suo centro. In questo caso l'indice, destinato a segnare sulle divisioni del lembo la grandezza dell'angolo di cui il cannocchiale ha ruotato passando dall'una all'altra posizione, è portato da un pezzo fisso posto vicinissimo a queste divisioni; per cui il cannocchiale, invece di portar seco un indice che percorra le diverse divisioni del lembo, trae seco nel suo movimento tutto il lembo, le cui divisioni passano successivamente davanti all'indice immobile.

I punti traguardati nella misura degli angoli, sia nelle ricerche astronomiche, sia nelle grandi operazioni aventi per iscopo la determinazione della figura della terra, trovansi sempre a grandissime distanze dall'osservatore; per cui non è indispensabile che l'asse ottico del cannocchiale adattato ad un cerchio incontri la perpendicolare al piano del cerchio e passante pel suo centro; giacchè l'asse ottico può passare da una parte di questa perpendicolare, anzi il cannocchiale può tutto trovarsi da un lato dell'asse, intorno a cui esso effettua il suo moto di rotazione sul cerchio, senza che ne derivi un errore apprezzabile nella misura dell'angolo; poichè la grandezza della distanza a cui si ritrova il punto traguardato fa sì che la direzione dell'asse ottico possa venire considerata siccome parallela a quella che avrebbe se realmente incontrasse l'asse del cerchio.

33. Abbiam detto che l'asse ottico d'un cannocchiale rimane individuato e dal centro ottico dell'obiettivo e dall'intersezione dei due fili del reticolo. Il primo di questi due punti è un punto matematico; ma non è lo stesso del secondo. Il diametro dei

fili, per quanto piccolo, ha però sempre un certo valore e non è nullo, per cui deriva una leggera indecisione nella direzione dell'asse ottico. Quando si osserva una stella, per esempio, e che l'imagine di questa stella viene condotta a nascondersi dietro l'intersezione dei due fili, non si sa veramente se quest'imagine trovisi nel mezzo del piccolissimo spazio determinato dall'incrociamento dei due fili, ovvero se trovisi all'uno de' suoi lembi; per cui la posizione del cannocchiale corrispondente alla disparizione dell'imagine della stella dietro la croce dei fili non resta esattamente determinata. L'errore che per tal modo si commette nella direzione del cannocchiale, dipendente dalla difficoltà di far coincidere esattamente l'imagine del punto osservato col mezzo della croce dei fili, dicesi *errore di collimazione;* questo errore può ammontare ad un secondo per gli osservatori più esercitati, e facendo uso degli strumenti più precisi che attualmente si possedono.

Spesso, in luogo d'un solo filo, dietro cui deve nascondersi l'imagine d'una stella che si osserva, se ne dispongono due fra loro paralleli, tra' quali si conduce l'imagine della stella ad egual distanza dai due fili (fig. 74). L'errore che si commette nella direzione del cannocchiale conducendo l'imagine della stella ad apparire egualmente lontana da questi due fili paralleli, è minore di quello che si commetterebbe facèndola coincidere con un filo unico, che dovesse passare nel mezzo dello spazio che li separa.

Fig. 74.

34. Lettura dell'angolo. — Quando si abbia diretto il cannocchiale adattato ad un cerchio successivamente a seconda dei due lati dell'angolo da misurarsi, non trattasi più che di determinare, mediante le divisioni del cerchio, il numero di gradi, minuti e secondi di cui quest'arco si compone; e per ciò basta valutare la lunghezza dell'angolo percorso dall'indice che accompagna il cannocchiale, facendolo passare dalla prima alla seconda posizione. Questa valutazione si effettuerebbe subito e con tutta facilità se il cerchio fosse diviso in secondi; infatti basterebbe numerare le divisioni del cerchio percorse dall'indice nel suo movimento, ciò che potrebbe venire facilitato mediante dei numeri posti a queste divisioni, od almeno ad alcune di esse. Ma se si pone attenzione alla piccolezza dell'arco d'un secondo sopra di un cerchio quale si usa nella misura degli angoli, tosto si comprende non essere possibile eseguire una graduazione siccome quella di cui abbiamo parlato. Sopra un cerchio di 45 centime-

tri di diametro, che è già una dimensione molto grande per uno strumento portatile, un grado occupa una lunghezza di poco meno di 4 millimetri; la lunghezza dell'arco di un minuto è di circa 1/15 di millimetro; e quella dell'arco di un secondo è di circa 1/900 di millimetro. È dunque chiaro che non devesi nemmeno pensare di dividere un tal cerchio in frazioni così piccole quali sono i secondi; giacchè in tal graduazione le linee di divisione si confonderebbero le une colle altre. I cerchi di cui si fa uso negli osservatorii hanno dimensioni molto maggiori dei cerchi portatili; ma sono ben lungi ancora d'essere bastantemente grandi perchè il loro contorno possa essere diviso in secondi. Comunemente si sta paghi di dividere i cerchi destinati alla misura degli angoli in archi di 10′ o di 5′; e per valutare le frazioni di questi archi si ricorre a mezzi speciali, quali sono i *vernier* o *nonii* ed i *micrometri.*

55. Per far comprendere l'uso del nonio, supporremo dapprima che trattisi di misurare la lunghezza d'una linea retta A B (fig. 75). Si comincia dal disporre lungo questa retta un

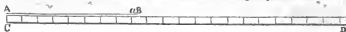



Fig. 75.

regolo C D, diviso in parti eguali, per esempio, in centimetri; e si ha cura che l'una delle due estremità A della linea da misurarsi corrisponda esattamente ad una delle divisioni tracciate sul regolo. Ciò fatto si ottiene senza difficoltà il numero dei centimetri contenuti nella linea A B: qui sono 8, con un resto *a* B minore di un centimetro. Per determinare in appresso la lunghezza di *a* B, valutata in frazione di un centimetro, si può ricorrere al seguente mezzo. Di seguito alla retta A B si mette un secondo regolo B E (fig. 76), la cui lunghezza totale è di

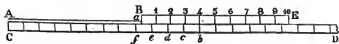



Fig. 76.

9 centimetri, divisi in dieci parti eguali; poi si cerca quale fra i segni delle divisioni tracciati sopra questo secondo regolo corrisponda esattamente ad uno dei segni delle divisioni del regolo C D: il numero che porta questo segno del secondo regolo indica il numero dei decimi di centimetro, e perciò dei milli-

metri, contenuto nel resto *a* B che trattavasi di valutare. Qui si trova che questo resto contiene 4 millimetri, poichè è il quarto segno di divisione del regolo B E che trovasi in coincidenza con uno dei segni di divisione del regolo C D.

Per rendersi conto di questo processo basta osservare che la lunghezza del regolo B E comprendendo 9 parti di C D, e questo regolo essendo stato diviso in 10 parti eguali, ciascuna divisione di B E è 9/10 di una delle divisioni di C D: la differenza fra le lunghezze di queste due divisioni è dunque di 1/10 della seconda. Dalla coincidenza del quarto segno del regolo B E col segno *b* del regolo C D risulta pertanto che il terzo segno di B E trovasi a destra del segno *c* di 1/10 di un centimetro; che il secondo segno di B E trovasi a destra del segno *d* di 2/10 di un centimetro; che il primo segno di B E trovasi a destra del segno *e* di 3/10 di un centimetro; e finalmente che l'estremità B del regolo B E trovasi a destra del segno *f* di 4/10 di un centimetro, ciò che porge la lunghezza della piccola retta *a* B.

È poi evidente che se il regolo B E fosse stato costruito della lunghezza di 19 divisioni di C D, dividendone la lunghezza totale in 20 parti eguali, si sarebbe potuto collo stesso regolo valutare la lunghezza di *a* B in ventesimi di centimetro; e che parimente si potrebbe costruirlo per modo da somministrare i trentesimi, i quarantesimi, ecc., di una delle divisioni del regolo principale C D. Questo processo, altrettanto semplice che ingegnoso, per valutare le frazioni delle divisioni di un regolo, venne imaginato da un francese chiamato Vernier, donde il nome di *vernier* che si dà al regolo B E destinato specialmente a raggiungere questo scopo (*).

Da quanto abbiamo esposto si comprende che il principio del nonio può essere applicato alla misura degli archi di cerchio così come alla misura delle linee rette; e che per tal modo si potranno valutare gli archi in frazioni piccolissime delle divisioni tracciate sul lembo graduato di cui si fa uso. A tale effetto gli strumenti che servono alla misura degli angoli sono muniti di nonii tracciati sui pezzi medesimi che portano gli indici destinati a segnare le estremità degli archi corrispondenti agli angoli cercati; ed è ciò che si vede nella figura 77. Il segno *a* non è altro che l'indice che accompagna la diottra a traguardi o il

(*) Comunemente fra noi è chiamato *nonio*, dal nome del portoghese *Nunnez*, creduto l'inventore; ma l'invenzione di Nunnez, anteriore a quella di Vernier, ne differisce totalmente, e per la sua complicazione venne bentosto abbandonata. Il *vernier* fu imaginato nel 1631.

cannocchiale fissato al pezzo A. La posizione di questo segno, fra le divisioni del lembo graduato B, fa conoscere immediatamente il numero intiero di queste divisioni di cui si compone l'arco, cominciando da un punto conosciuto del lembo e terminando in a. Ma di solito rimane una porzione di quest'arco, più piccola di una delle divisioni del lembo, che è necessario valutare in frazioni di queste divisioni; ed è quanto si ottiene mediante il nonio portato dal pezzo A, e tracciato a partire dall'indice a, per modo da trovarsi sempre collocato di seguito immediatamente all'arco di cui si cerca la grandezza. Se, per esempio, il lembo non è diviso che in mezzi gradi, ed il nonio venne costruito prendendo un arco contenente 29 di queste divisioni e quindi dividendolo in 30 parti eguali, con questo nonio si potranno valutare gli archi in trentesimi di un mezzo grado, vale a dire in minuti.

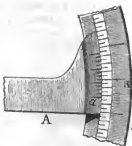



Fig. 77.

Teoricamente parlando col nonio si possono valutare le lunghezze rettilinee, o gli archi di cerchio, in parti piccole quanto si vogliono delle divisioni del regolo o del lembo graduato; ma nel fatto questa suddivisione non può essere spinta oltre un certo limite. I segni tracciati sia sul lembo che sul nonio hanno necessariamente una certa larghezza; quindi, ove si voglia costruire un nonio col quale si possano valutare delle frazioni di una retta o di un arco di cerchio minori della larghezza medesima dei segni di divisione, non si potrà ottenere una sola coincidenza tra uno dei segni del nonio ed uno di quelli del regolo o del lembo graduato; una tale coincidenza avrà luogo per parecchi segni consecutivi, e non si saprà discernere a quale fra tutte debbasi appigliare. In tal caso si sceglierà naturalmente quella delle coincidenze che sensibilmente occuperà il mezzo fra tutte le altre. Si comprende adunque che un nonio non può somministrare i valori di linee rette o di archi di cerchio in frazioni piccolissime dell'unità principale se le divisioni non sieno segnate a tratti assai minuti e precisi; le quali divisioni poi si osservano facendo uso d'un microscopio tenuto in mano, o meglio unito per questo scopo allo strumento medesimo.

56. Il nonio viene usato più comunemente per frazionare le divisioni d'un cerchio negli strumenti portatili; negli strumenti fissi degli osservatorii vien preferito il *micrometro*, col quale si può raggiungere una esattezza ancora maggiore. Questo strumento consiste in una specie di piccolo cannocchiale a

Fig. 78.

reticolo A B (fig. 78), fisso invariabilmente rispetto alle divisioni del lembo C D, il quale in questo caso fa corpo col cannocchiale dello strumento e si muove con esso (52). (Qui la graduazione si suppone fatta sul contorno del lembo, come talvolta ha luogo negli strumenti di cui ci occupiamo.) Ponendo l'occhio vicino all'oculare del micrometro, scorgesi un'imagine ingrandita di una parte della graduazione del lembo (fig. 79), e veggonsi in pari tempo i fili del reticolo incrociarsi attraverso a quest'imagine. Questi fili non sono fissi, come nei cannocchiali ordinarii a reticolo; ma, mediante una vite a testa graduata *a* (fig. 78), si può dar loro un moto di traslazione perpendicolarmente all'asse del micrometro, e nella direzione medesima secondo cui veggonsi muovere le divisioni del lembo quando lo si fa ruotare intorno al suo centro. Condotto il reticolo al principio del cammino che la vite gli può far percorrere, l'asse ottico del micrometro occupa una posizione affatto determinata; questa particolare direzione dell'asse ottico costituisce a vero dire l'indice destinato a segnare sul lembo l'estremità dell'arco di cui questo lembo ha ruotato passando da una posizione ad un'altra. Se il cerchio, ruotando intorno al suo centro, a partire da una posizione conosciuta, si fermasse in una seconda posizione, tale che uno dei segni della sua graduazione corrispondesse esattamente all'indice di cui abbiamo parlato, basterebbe conoscere il numero corrispondente a questo segno della divisione per dedurne immediatamente la grandezza dell'arco corrispondente alla quan-

tità di rotazione del lembo. Ma d'ordinario non succede così: il punto d'incontro dei fili del reticolo, che abbiam supposto sempre ricondotto all'origine del movimento di cui è capace, trovasi collocato tra due segni consecutivi, come si vede nella figura 79. Se le divisioni del lembo, vedute nell'interno del micrometro, camminarono nel verso della freccia, il segno *m* è l'ultimo che in questo movimento abbia oltrepassato il punto d'incrociamento dei fili; basta dunque misurare la quantità di cui esso l'ha sorpassato per conoscere il rapporto che ha colla larghezza totale di una delle divisioni, e per trovare quindi quanto devesi aggiungere al valore dell'arco descritto, supposto che esso termini al segno *m*. A tale effetto si fa muovere il reticolo mediante la vite *a* (fig. 78), finchè il suo incrociamento venga a coincidere esattamente col segno *m*: il numero di giri e frazioni di giri fatti descrivere alla vite farà conoscere la grandezza del cammino percorso dal reticolo, cammino che si valuterà facilmente in minuti e secondi. Supponiamo, per esempio, che il lembo sia diviso di 5 in 5 minuti, che la vite del micrometro debba fare esattamente 10 giri per fare percorrere un'intiera divisione al punto d'incrociamento dei fili, e che il contorno della testa di questa vite sia diviso in 60 parti eguali: ciascun giro della vite farà avanzare il reticolo di una quantità eguale all'arco di 30″ preso sul lembo, e ciascuna divisione della testa della vite corrisponderà ad un arco di un mezzo secondo.

Fig. 79.

Un piccolo specchio *l* (fig. 78), fissato al micrometro, è disposto in modo da riflettere la luce d'una lucerna o d'un becco a gas sulla parte delle divisioni del lembo che trovasi in faccia al micrometro, onde si possano vedere convenientemente queste divisioni. Lo specchio *l*, che trovasi collocato tra il lembo e l'obiettivo del micrometro, ha nel suo centro un foro, destinato a lasciar passare i raggi luminosi partiti dal lembo, che debbono cadere sull'obiettivo per penetrare nell'interno del micrometro.

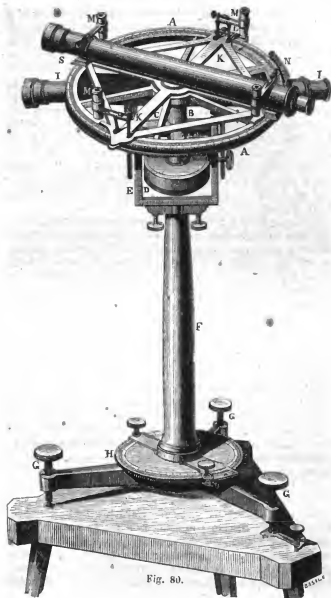
37. **Ripetizione degli angoli.** — L'esattezza della misura d'un angolo dipende da differenti circostanze che si riferiscono, le une a' mezzi che s'impiegano nel dirigere le visuali, le altre alla lettura di quest'angolo sul lembo graduato dell'istrumento. Dalla lettura dell'angolo possono derivare considerevoli errori, specialmente quando si fa uso di strumenti portatili, i quali,

per ciò appunto, non possono avere grandi dimensioni. Questi errori provengono tanto dalla graduazione del cerchio, la quale presenta errori quasi inevitabili, quanto dal nonio, che non spinge molto lungi la suddivisione delle parti del cerchio. Per sfuggire a questo genere di errori si è imaginato un mezzo ingegnosissimo, il quale consiste nella *ripetizione degli angoli;* ed eccone il principio.

Supponiamo che, mediante una serie di successive operazioni, si arrivi a far descrivere all'asse ottico del cannocchiale adattato ad un cerchio, più volte di seguito e nel medesimo verso, l'angolo di cui si cerca il valore, per modo che il cannocchiale abbia nel complesso ruotato, intorno al centro del cerchio, d'un angolo eguale ad un multiplo dell'angolo richiesto, per esempio, di dieci volte quest'angolo: si leggerà sul lembo il valore dell'angolo totale; poi, dividendo questo valore per 10, si avrà quello dell'angolo richiesto. Ma se, così operando, si commette un errore nella lettura dell'angolo multiplo, questo errore si troverà poi diviso per 10, e per conseguenza sull'arco semplice non ne risulterà che un errore dieci volte minore; mentre, limitandosi a misurare direttamente quest'angolo semplice, avrebbesi potuto commettere lo stesso errore di lettura che sopra il suo multiplo. Parimente basta determinare, per mezzo di una semplice lettura, il valore d'un angolo 20, 30 volte maggiore di quello che si vuole ottenere, perchè risulti un valore di quest'ultimo angolo avente un errore 20, 30 volte minore di quello che si potrebbe commettere misurandolo semplicemente col processo ordinario.

L'idea di questo metodo ingegnoso, che può essere considerato come atto a togliere completamente l'errore di lettura nella misura degli angoli, potendosi diminuire quest'errore quanto si vuole, è dovuta all'astronomo Tobia Mayer, che la fece conoscere nel 1777. Borda però fu il primo che fece costruire strumenti idonei a metterlo in pratica; ed ora ci faremo a descrivere il cerchio di Borda, comunemente indicato col nome di *cerchio ripetitore* perchè destinato alla misurazione degli angoli applicandovi il principio della ripetizione.

58. **Circolo ripetitore.** — Quest'istrumento consiste in un cerchio graduato A A (fig. 80), portato da un piede in guisa da poter assumere qualunque direzione, e munito di due cannocchiali a reticolo destinati a dirigere le visuali secondo i lati dell'angolo da misurarsi. Il cerchio A A può ruotare nel suo piano intorno ad un asse impiantato perpendicolarmente ad esso.

Fig. 80.

e passante pel suo centro. Quest'asse attraversa un tubo B, fissato all'asse orizzontale C e che finisce con un rigonfiamento molto pesante D, destinato a servire di contrappeso al cerchio ed ai due cannocchiali, a fine di impedire che la gravità non tenda a produrre oscillazioni nel cerchio facendolo ruotare intorno all'asse C, le cui estremità sono sostenute dai bracci E E elevantisi sulla colonna F e possono ruotare liberamente nelle aperture circolari praticate in questi sostegni. Finalmente anche la colonna F può ruotare, con tutto quanto essa porta, intorno ad un asse, che penetra nel suo interno per porzione della sua altezza e rimane fissato al piede dello strumento. È chiaro che, mediante siffatta disposizione, facendo ruotare il cerchio intorno all'asse C, ed in pari tempo tutto lo strumento intorno all'asse della colonna F, si può condurre il piano del cerchio ad avere quella direzione che si vuole.

Un cannocchiale S S è collocato sulla faccia superiore del cerchio, nella direzione di un suo diametro, e può ruotare liberamente intorno al suo centro, indipendentemente dal cerchio stesso. Un secondo cannocchiale I I è pure adattato alla faccia inferiore del cerchio; ma non è diretto a seconda di un diametro, opponendovisi l'asse del cerchio; trovasi invece collocato a fianco di quest'asse, intorno al quale può non ostante ruotare liberamente e indipendentemente dal cerchio. La posizione eccentrica di questo cannocchiale inferiore non impedisce di potersene servire come se fosse assolutamente diretto a seconda di un diametro; giacchè, siccome abbiamo già osservato (32), non ne deriva apprezzabile errore nell'osservazione degli astri o degli oggetti terrestri bastantemente lontani.

39. Disposto il piano del lembo in opportuna direzione, per mezzo dei movimenti di cui è suscettibile intorno all'asse C C, ed intorno all'asse della colonna F; giovandosi di viti di pressione collocate all'uopo, si fa in modo che questi movimenti vengano affatto impediti. Il cerchio allora non può assumere altro movimento che nel suo piano, intorno all'asse che attraversa il tubo B, ed in questo movimento trae seco i due cannocchiali, ciascun de' quali per altro può muoversi da solo intorno al proprio centro, siccome abbiamo già detto. Tutti e tre questi movimenti, del cerchio coi cannocchiali e di ciascun cannocchiale indipendentemente dal cerchio, possono effettuarsi in due maniere: rapidamente dapprima colla mano, per dare press' a poco al cerchio ed ai cannocchiali quella posizione che si vuole; lentamente dappoi, mediante una vite di richiamo, per ridurli

esattamente a questa posizione. Ed ecco quale disposizione venne a tale scopo adottata per ciascun cannocchiale.

Il pezzo *a* (fig. 81) fa corpo col cannocchiale e rappresenta, rispetto al cannocchiale superiore, per esempio, l'estremità del pezzo K (fig. 80). In questo pezzo *a* è praticata un'apertura rettangolare, attraversata nel suo mezzo da una vite *b*, la quale può ruotare nei colletti fissati alle due estremità dell'apertura medesima. Una madrevite *c* è impegnata nella vite *b* ed è anche attaccata ad una piccola morsa *d*, le cui ganasce sono collocate l'una sopra e l'altra sotto alla parte assottigliata del lembo; la vite *e* è destinata a ravvicinare le due ganasce per modo da serrare fra esse il lembo, con che si fissa, per così dire, la madrevite *c* al lembo medesimo. Volendo smuovere rapidamente il cannocchiale, e di una quantità alquanto grande, si schiude la vite di pressione *e*, ciò che rende totalmente libero il cannocchiale di muoversi intorno al centro del cerchio sotto l'impulsione della mano. Data poscia al cannocchiale approssimatamente la posizione in cui deve arrestarsi, se si voglia ridurvelo esattamente, si stringe la vite di pressione *e*, con che la mascella *d* e la madrevite *c* trovansi fissate al lembo, e si fa ruotare la vite di richiamo *b*, la quale scorre nella madrevite *c*, comunicando un moto lento al pezzo *a*, che trae seco il cannocchiale.

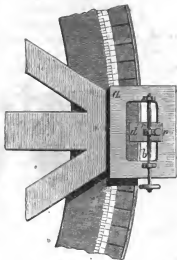



Fig. 81.

Una diversa disposizione è stata adottata onde produrre in modo analogo il movimento del cerchio intorno al suo centro. L'asse del cerchio, dopo avere attraversato il tubo B B (fig. 80) e il contrappeso cilindrico D, si prolunga d'alquanto, e porta una ruota dentata dello stesso diametro del contrappeso. Una vite perpetua imbocca in questa ruota, ed è portata da colletti fissati al tamburo D, come si vede nella figura 82. Facendo ruotare

la vite perpetua *a b*, prendendola per una delle due teste che porta alle sue due estremità, la ruota dentata, in cui essa imbocca riceverà un moto di rotazione, a cui necessariamente parteciperà il cerchio, che trovasi com'essa fissato al medesimo asse. Ma la vite *a b* può essere allontanata dalla ruota dentata, per modo da togliergli qualunque comunicazione con essa; perciò basta far ruotare di poco il nottolino *d* intorno al piccolo asse *c* cui trovasi fissato; questo nottolino spinge l'estremità *a* della vite, che quindi non imbocca più nella ruota dentata (fig. 83), lasciando questa ruota libera di ruotare col

Fig. 82. Fig. 83.

cerchio sotto l'impulsione della mano. Ritornando il nottolino *d* nella primitiva posizione, la vite è ricondotta vicino alla ruota dentata per l'azione della molla *e*, ristabilendo così la comunicazione tra la vite e la ruota. Per poter dare al cerchio un moto di rapida rotazione intorno al suo centro basta disimboccare la vite perpetua mediante il nottolino *d*; e data così al cerchio approssimatamente quella posizione che deve avere, si ristabilisce la comunicazione della vite perpetua colla ruota dentata, e facendo ruotare questa vite, si riduce lentamente il cerchio ad avere esattamente la posizione che gli si vuol dare.

40. Conosciuta la disposizione del cerchio ripetitore e l'uso dei diversi pezzi che lo compongono, ci faremo ora ad indicare la maniera di servirsene per misurare un angolo, applicando il principio della ripetizione degli angoli (37).

Siano A B i due punti lontanissimi verso i quali sono diretti i lati dell'angolo da misurarsi. Collocato il cannocchiale superiore del cerchio in modo che il suo indice coincida collo zero della graduazione, e fissatolo al cerchio in questa posizione, si dispone il cerchio nel piano dell'angolo, e lo si fa ruotare in questo piano, finchè il cannocchiale superiore venga a dirigersi verso il punto A; quindi si fa muovere il solo cannocchiale

inferiore in modo da dirigerlo verso il punto B. Ridotto il cerchio in questa posizione (fig. 84), e diretti così i cannocchiali a seconda dei due lati dell'angolo, si fa ruotare il cerchio insieme ai due cannocchiali, finchè il cannocchiale inferiore venga a dirigersi al punto A (fig. 85), poi si fissa il cerchio, se ne libera il cannocchiale superiore, e lo si conduce ad essere diretto verso il punto B (fig. 86). È chiaro che in questo movimento il cannocchiale superiore descrive un angolo doppio di quello che si cerca, e che il suo indice percorre sul lembo un arco che misura esattamente quest'angolo doppio: leggendo il numero dei gradi, minuti e secondi a cui corrisponde la nuova posizione di quest'indice sul lembo, e dividendo questo numero per 2, si avrà il valore dell'angolo cercato. Ove poi non sia sufficiente la duplicazione dell'angolo e se ne voglia un multiplo maggiore, si continuerà l'operazione nel modo seguente.

Trovandosi il cerchio ed i cannocchiali nella posizione indicata dalla figura 86, si fa ruotare tutto il loro assieme nel piano dell'angolo, vale a dire intorno all'asse del cerchio, finchè il cannocchiale superiore venga di nuovo a dirigersi verso il punto A (fig. 87); si libera quindi il cannocchiale inferiore, e lo si fa ruotare da solo in modo da ricondurlo verso il punto B (fig. 88). Allora l'istrumento trovasi precisamente disposto siccome da principio (fig. 84); con questa differenza però che l'indice del cannocchiale superiore non corrisponde più allo zero della graduazione, ma trovasi da questo zero ad una distanza angolare eguale al doppio dell'arco richiesto. Si comprende dunque che si potrà partire da questa posizione

del cerchio e dei cannocchiali, siccome si è partito da quella indicata dalla fig. 84, per eseguire un'operazione esattamente simile a quella che venne già effettuata, e si farà così percorrere all'indice del cannocchiale superiore un arco di lembo graduato precisamente eguale a quello da esso già percorso; vale a dire che alla fine di questa seconda operazione, l'indice si troverà ad una distanza angolare dallo zero eguale a quattro volte l'angolo richiesto.

Ripetendo ancora le stesse operazioni, e ciò quante volte si vorranno, si farà percorrere all'indice del cannocchiale superiore, a partire dallo zero della graduazione, un arco totale sei, otto, dieci volte.... maggiore di quello che corrisponde all'angolo di cui si vuole determinare il valore. Questo arco totale si comporrà generalmente d'un certo numero d'intiere circonferenze e d'una porzione di circonferenza, di cui si troverà il valore dietro la posizione che l'indice occuperà tra le divisioni del lembo. Quando avrassi così ottenuto il numero di gradi, minuti e secondi rappresentante il valore del multiplo dell'angolo richiesto, che si è fatto descrivere al cannocchiale superiore, basterà dividerlo pel numero indicato da questo multiplo, e si avrà il valore dell'angolo richiesto.

Per diminuire l'errore che si può commettere nel valore dell'angolo multiplo, per la lettura della posizione dell'indice del cannocchiale superiore alla fine delle operazioni, si adattano a questo cannocchiale quattro differenti nonii, regolarmente distribuiti sul contorno del cerchio. Uno solo degli indici che accompagnano questi nonii serve a determinare il numero intiero di divisioni del lembo di cui il cannocchiale ha ruotato complessivamente, dal principio alla fine; ma ciascuno dei quattro nonii porge un valore della frazione di divisione che devesi aggiungere a questo numero intiero, ed è la media delle loro indicazioni che viene adottata come rappresentante il valore esatto di questa frazione di divisione. Trovansi in oltre disposti dei microscopii M M (fig. 80), in guisa da poter osservare facilmente le divisioni dei nonii e la coincidenza di una di esse con una delle divisioni del lembo, potendosi muovere ciascun microscopio per mezzo di viti per tutta la lunghezza del nonio corrispondente.

Devesi notare una circostanza importante nel maneggio del circolo ripetitore, ed è che ogni volta che si libera uno dei cannocchiali del cerchio per farlo ruotare senza che tragga seco il cerchio, si può verificare l'immobilità del lembo mediante l'altro cannocchiale, il cui asse ottico è diretto verso uno dei

punti A, B, e non deve cessare di passare per questo punto. Il menomo movimento che assumerebbe il circolo mentre si fa muovere uno de' cannocchiali produrrebbe un errore bastantemente considerevole nella misura dell'angolo; ma l'osservatore si accorgerebbe necessariamente dello spostamento del cerchio mediante il cannocchiale che gli è rimasto fissato.

Se si riflette al modo con cui si ottiene il valore d'un angolo, seguendo l'indicato andamento, si riconosce che l'errore di lettura è effettivamente impicciolito quanto si vuole mediante la ripetizione dell'angolo; poichè l'errore commesso nella lettura d'un angolo dieci, venti volte..... maggiore dell'angolo richiesto, è in grandezza dello stesso ordine di quello che si commetterebbe colla misurazione diretta di quest'angolo, e che trovasi diviso per 10, 20... . Ma non è lo stesso dell'errore di *collimazione* (33), il quale non si commette una sola volta nella misura d'un multiplo dell'angolo richiesto, ma si commette quante volte si dirige una visuale: per modo che se tutti gli errori di collimazione che si commettono successivamente fossero nel medesimo verso e tra loro eguali, ne risulterebbe in ultimo, per l'angolo richiesto, lo stesso errore che si avrebbe limitandosi a misurarlo senza ricorrere al principio della ripetizione. L'errore di collimazione non è attenuato, per la ripetizione degli angoli, se non per ciò che gli errori commessi nelle successive operazioni trovansi gli uni in un verso, gli altri in verso contrario: il risultato è lo stesso, sotto questo rapporto, che se si fosse misurato a parecchie riprese lo stesso angolo richiesto, e si fosse determinato in appresso il medio dei numeri ottenuti (*).

41. Misura delle distanze zenitali. — Ogni qual volta i due lati dell'angolo da misurarsi sono determinati da punti che si possono osservare mediante i cannocchiali si opera siccome fu detto. Ma questi lati non sono sempre così individuati, come accade specialmente quando si vuol misurare la *distanza zenitale* d'un punto.

Dicesi *verticale*, per un punto qualunque della terra, la direzione secondo cui agisce la gravità. Questa direzione ci è indicata chiarissimamente dall'istrumento notissimo sotto il nome

(*) La bellezza astratta del principio della moltiplicazione degli angoli ed i vantaggi che teoricamente ne derivano sembra che in pratica vengano elisi da qualche causa tuttora sconosciuta, la quale probabilmente dipende dall'imperfezione degli apparecchi destinati a fissare l'indice del cannocchiale sul lembo graduato del circolo.

di *filo a piombo* (fig. 89). Dicesi *zenit* il punto del cielo verso cui si dirige la verticale, e *distanza zenitale* d'un punto è la distanza angolare di questo punto dallo zenit; vale a dire l'angolo che fa il raggio diretto verso questo punto colla verticale del luogo d'osservazione. Lo zenit non è già un punto visibile e che si possa osservare con un cannocchiale; gli è perciò che la misura di una distanza zenitale non può effettuarsi applicando semplicemente quanto abbiam detto in generale sulla misura di un angolo mediante un cerchio ripetitore. Non si può trovare il valore della distanza zenitale d'un punto che seguendo un andamento affatto speciale, e che ora faremo conoscere.

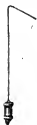



Fig. 89.

42. Ma dapprima è d'uopo dire alcune parole sul *livello a bolla d'aria*, istrumento d'un uso frequente nelle operazioni del genere di quella di cui ci occupiamo. Il livello a bolla d'aria (fig. 90) si compone essenzialmente di un tubo di vetro, presso a poco cilindrico, chiuso alle sue due estremità, e ripieno quasi intieramente d'un liquido. La parte della capacità del tubo che non è occupata dal liquido è piena d'aria, od anche di vapore del liquido medesimo; ed è ciò che si dice la *bolla d'aria*. Il tubo è quasi totalmente coperto da una custodia metallica destinata a preservarlo, la quale non lascia scorgere che la parte superiore del tubo, in cui viene a disporsi la bolla quando il tubo è collocato orizzontalmente. Un leggiero incurvamento longitudinale dato al tubo nel suo interno, nella parte occupata dalla bolla, fa si che questa bolla vi prenda una determinata posizione, e che una debolissima inclinazione data al tubo, nell'uno o nell'altro verso, produca uno spostamento notevole della bolla, la quale cerca sempre di portarsi al punto più elevato dello spazio nel quale è libera di muoversi. Questo livello a bolla d'aria è impiegato in due differenti circostanze: 1.° per riconoscere l'orizzontalità d'una superficie piana; 2.° per riconoscere la verticalità dell'asse di rotazione d'un apparecchio.

Fig. 90.

Nel primo caso la custodia metallica del tubo porta alla sua parte inferiore un regolo parimente metallico, come appare nella figura 90. Nella costruzione del livello si dispone questo regolo per modo che quando riposa sopra una superficie orizzontale, la bolla d'aria occupi il mezzo della lunghezza del tubo. Ma non

devesi ritenere che lo strumento soddisfi esattamente a siffatta condizione; e per riconoscere se una superficie piana sia esattamente orizzontale secondo una certa direzione, non basta collocare il livello sulla superficie in questa direzione, ed osservare se la bolla trovasi esattamente nel mezzo della lunghezza del tubo; ma dopo aver osservato il posto occupato dalla bolla in questa prima posizione del livello, si dovrà invertere l'istrumento co' suoi estremi, e vedere se, dopo questa inversione, la bolla occupa sempre il medesimo posto nel tubo. Infatti se la bolla resta allo stesso punto del tubo in queste due posizioni inverse del livello, ciò indica necessariamente che la superficie è orizzontale secondo la direzione assoggettata a questa prova, anche quando il posto occupato dalla bolla non si trovasse nel mezzo della lunghezza del tubo. Basta operare così secondo due diverse direzioni prese sulla superficie piana, per esempio, secondo due direzioni perpendicolari tra loro, per essere sicuri che la superficie è orizzontale.

Quando il livello a bolla d'aria viene usato per riconoscere se l'asse di rotazione d'un apparecchio sia esattamente verticale, non occorre che sia munito del regolo inferiore, di cui abbiamo precedentemente parlato; basta che sia adattato in qualunque maniera all'apparecchio di cui si tratta, siavi pure assolutamente fissato, o si appoggi semplicemente sopra alcune parti di esso. Perchè l'asse di rotazione sia esattamente verticale è d'uopo che la bolla del livello conservi sempre la stessa posizione nel tubo, qualunque sia la posizione che assuma l'apparecchio nel suo movimento intorno a quest'asse.

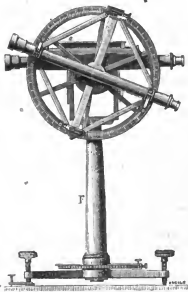
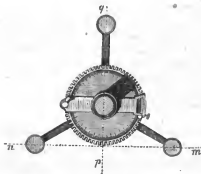
Il livello a bolla d'aria è uno strumento sensibilissimo; quando un piano venga a spostarsi anche di pochissimo dalla direzione orizzontale, o un asse di rotazione dalla direzione verticale, se ne è avvertiti facendo uso d'un livello a bolla d'aria. Per poter facilmente riconoscere se la bolla d'aria occupa sempre lo stesso posto nel tubo, si tracciano solitamente sulla parte superiore del tubo un certo numero di divisioni trasversali che servono di punti di confronto.

45. Quando si vuole far uso di un circolo ripetitore per misurare una distanza zenitale devesi prima di tutto rendere esattamente verticale l'asse della colonna F (fig. 80). Per ciò si fa uso delle tre viti G, mediante le quali lo strumento s'appoggia sul suo sostegno: facendo girare queste viti più o meno nell'uno o nell'altro verso, si giunge a togliere qualunque obliquità dell'asse della colonna, ciò che si riconosce col mezzo d'un

livello a bolla d'aria adattato ordinariamente al tubo del cannocchiale inferiore. Ma per potere, in modo sicuro e in breve tempo, ottenere la verticalità dell'asse, si procede nella seguente particolare maniera.

Fig. 91.

Fig. 92.

Dopo aver fatto girare il cerchio intorno dell'asse C C, in guisa da rendere il suo piano press' a poco verticale, si dà al cannocchiale inferiore una direzione orizzontale, siccome vedesi nella figura 91. Il livello a bolla d'aria a, che porta questo cannocchiale, trovasi allora opportunamente disposto per far riconoscere se l'asse F sia esattamente verticale. Ciò fatto, si porta il livello a bolla d'aria ad essere diretto parallelamente alla retta m n, (fig. 92), che passa per due delle viti G facendo ruotare tutto lo strumento intorno all' asse F; poi si produce in esso un semi-giro intorno a questo medesimo asse, in guisa da ricondurre il livello ad essere ancora parallelo alla retta m n. Se in queste due posizioni del livello la bolla occupa lo stesso posto nel tubo, ciò indica che l'asse F non ha alcuna inclinazione a seconda della retta $m\,n$, che non pende nè verso l'estremità m. nè verso l'estremità n di questa linea. Se al contrario

la bolla del livello non si dispone egualmente nelle due successive posizioni date all'istrumento, ciò significa che l'asse F pende verso *m* o verso *n*; nel qual caso si agisce sulle due viti per le quali passa la retta *m n*, ovvero sopra una sola di esse onde raddrizzare l'asse nel verso indicato dal livello: in pari tempo si fa muovere il cannocchiale inferiore d'una piccola quantità sul cerchio, per ricondurre il livello ad avere le sua bolla posta press' a poco alla metà della sua lunghezza; poscia si ricomincia l'operazione precedentemente effettuata, per riconoscere se venne tolta completamente l'obliquità dell'asse rispetto la retta *m n*. Di rado si riesce a togliere affatto col primo tentativo una tale obliquità; ma vi si arriva sempre in capo ad un piccolo numero di tentativi, che consistono nella successiva ripetizione dell'operazione indicata.

Assicuratisi che l'asse F non abbia più alcuna obliquità rispetto alla retta *m n*; si fa ruotare tutto l'istrumento intorno a quest'asse F per ridurre il livello ad essere diretto parallelamente alla retta *p q*, che passa per la terza vite G ed è perpendicolare alla retta *m n*; quindi si ripete per la direzione *p q* quanto venne fatto per la direzione *m n*, avendo cura di non toccare che la terza vite medesima situata su *p q*, onde raddrizzare l'asse F nella direzione di questa retta. Raddrizzato così l'asse secondo due diverse direzioni perpendicolari l'una all'altra, deve esso trovarsi esattamente verticale, e per conseguenza la bolla del livello deve mantenersi compresa tra le medesime linee segnate sul tubo, qualunque sia la posizione che diasi all'istrumento facendolo ruotare intorno all'asse F.

Reso verticale l'asse della colonna, conviene ridurre ad essere esattamente verticale anche il piano del lembo, facendolo ruotare più o meno intorno all'asse orizzontale C C (fig. 80). La verticalità di questo piano si riconosce mediante un sottilissimo filo a piombo che si avvicina al cerchio; per maggior comodo si adattano al cerchio due appendici sporgenti della stessa dimensione, l'una alla sua parte superiore, l'altra alla sua parte inferiore, assicurandosi per mezzo del filo a piombo, se due punti individuati sopra di esse trovansi esattamente sopra una stessa verticale. Ma per non ripetere questa operazione ogni volta che vogliasi eseguire una misura di distanza zenitale, adattasi al tubo B B (fig. 80) un piccolo livello a bolla d'aria, la cui bolla si trovi esattamente alla metà della lunghezza del tubo, quando il filo a piombo indica che il circolo è verticale; per cui comunemente si sta paghi di osservare questo

piccolo livello a fine di verificare la verticalità del cerchio.

44. Resi così verticali l'asse della colonna del circolo ripetitore e il piano del suo lembo, lo strumento trovasi soddisfare alle condizioni opportune per essere impiegato alla misura delle distanze zenitali. Si fa allora ruotare il cannocchiale superiore sul cerchio, finchè il suo indice coincida collo zero della graduazione, e si fissa al cerchio in questa posizione; quindi si fa ruotare il cerchio insieme al cannocchiale, dapprima intorno all'asse della colonna, per condurre il piano verticale del cerchio a passare pel punto A da osservarsi, poscia intorno all'asse del cerchio, per condurre l'asse ottico del cannocchiale ad essere esattamente diretto verso questo punto A (fig. 93). Fissato il cerchio in questa posizione, per mezzo della vite tangente che agisce all'estremità del suo asse (39), si fa descrivere un semi-giro a tutto l'istrumento intorno all'asse della colonna, per condurlo nella posizione che indica la figura 94; poi si libera il cannocchiale superiore, e lo si fa ruotare da solo intorno all'asse del cerchio in guisa da ricondurlo verso il punto A (fig. 95). Gli è evidente che con questo movimento il cannocchiale ha ruotato precisamente di un angolo doppio della distanza zenitale A O Z che si vuole determinare, e che dopo aver letto il numero dei gradi, minuti e secondi della graduazione cui corrisponde l'indice che accompagna il cannocchiale, non si avrà che a prendere la metà di questo numero per ottenere il valore di questa distanza zenitale.

L'operazione è terminata volendo limitarsi alla misura del doppio dell'angolo richiesto; ma quando si voglia determi-

nare il valore di un multiplo maggiore di questo angolo, si continua nella seguente maniera. Trovandosi l'istrumento nella posizione indicata dalla fig. 95, gli si fa descrivere una semi-rivoluzione intorno all'asse della colonna (fig. 96); poi si fa ruotare il cerchio nel suo piano finchè il cannocchiale che gli è rimasto fissato venga di nuovo a dirigersi al punto A (fig. 97). Allora l'istrumento è ricondotto in una posizione identica a quella che gli si era data da principio, eccetto che l'indice del cannocchiale, in luogo di corrispondere allo zero della graduazione, trovasi da questo zero ad una distanza angolare doppia dell'angolo di cui si cerca il valore. Con una nuova operazione, in tutto simile a quella superiormente spiegata, si fa descrivere a questo circolo un arco del lembo precisamente eguale a quello che ha già descritto; e la nuova posizione da esso occupata, dopo questa seconda operazione, fa conoscere il valore del quadruplo dell'angolo richiesto. Si comprende pertanto che, ripetendosi questa medesima operazione successivamente 3, 4, 5.... volte, si arriva a conoscere con una sola lettura il valore d'un angolo eguale a 6, 8, 10.... volte la distanza zenitale richiesta, e che in appresso se ne può dedurre un valore esattissimo di questa distanza zenitale (*).

(*) L'osservatorio di Milano possiede un circolo ripetitore di Lenoir, la cui costruzione è precisamente eguale a quella rappresentata dalla fig. 80; ed è quel medesimo che venne adoperato dall'illustre Méchain nella misurazione della parte meridionale dell'arco di meridiano passante per Parigi, e nella determinazione delle latitudini di Montjouy e di Barcellona (vedi 105). Il cerchio principale A A è del diametro di 16 pollici ($0^m,43$); le divisioni del suo lembo danno direttamente l'arco di 10', e ciascuno de' quattro nonii de' quali è munito porge 1/20 di una divisione del lembo, vale a dire l'arco di 30''. Il circolo azimutale H, del diametro di 8 pollici ($0^m,22$), porge direttamente l'arco di 30', e mediante un nonio quello di 1'.

Oltre questo circolo ripetitore, ed alcuni altri che, pregevolissimi all'epoca in cui vennero costruiti, lasciano però molto a desiderare nell'attual perfezione degli strumenti astronomici, trovansi in questo medesimo osservatorio due circoli ripetitori di perfezione veramente mirabile, sebbene muniti di un solo cannocchiale e destinati soltanto alla misura di distanze zenitali.

Il maggiore di essi venne costruito fino dal 1809 a Monaco dal rinomato artefice Consigliere di Reichenbach. In questo il circolo verticale è del diametro di tre piedi ($0^m,97$); il suo lembo è diviso secondo il sistema centesimale, in guisa da porgere direttamente l'arco di 5' minuti centesimali (2',42'' sessag.), ed è munito di quattro nonii, ciascuno dei quali somministra 1/100 di una divisione del lembo, vale a dire l'arco di 5 secondi centesimali (1'',62 sessag.). Il diametro del circolo azimutale, di 2 1/2 piedi (0^m81), è anch'esso diviso secondo il sistema centesimale, e

45. Teodolite. — Mediante il circolo ripetitore si può misurare con grande esattezza l'angolo A O B (fig. 98), formato dalle

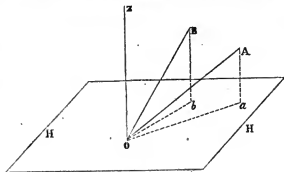



Fig. 98.

rette che congiungono i punti A, B col punto O, in cui trovasi l'osservatore. Ma non è questo l'angolo che più frequentemente occorra di conoscere, sibbene quello compreso tra i piani verticali Z O A, Z O B, che passano per questi due punti,

somministra direttamente l'arco di 10 minuti centesimali (5',24'' sessag.); ognuno poi dei due nonii che porta dà 1/100 di quest'arco, cioè 10 secondi centesimali (3'',24 sessag.): per questo circolo azimutale lo strumento acquista i pregi eziandio di un grande teodolite. Il circolo verticale può ruotare intorno ad una colonna di bronzo massiccia, alta 4 1/2 piedi (1^m,46), e del diametro di 4 pollici (0^m,11), dalla quale è portato; e tutto lo strumento si muove in mezzo a due colonne di granito, erette sopra una base pure di granito, le quali, mediante un robusto telajo di ferro, solidamente lo sostengono. Con un livello a staffa, che si può sospendere all'asse orizzontale intorno cui ruota il circolo verticale, si verifica l'esatta verticalità del circolo medesimo; e con altro livello, applicabile alla colonna, si verifica la verticalità di essa.

L'altro circolo ripetitore portatile venne acquistato nel 1824, e fu costruito nell'I. R. Istituto Politecnico di Vienna dal macchinista Jaworski. Il diametro del suo circolo verticale è di 18 pollici (0^m,49); il suo lembo somministra direttamente l'arco di 5'; e da ciascuno de' quattro nonii, di cui è munito, si ha poi l'arco di 4''; Il diametro del circolo azimutale è di 6 pollici (0^m,16), ed il lembo somministra direttamente l'arco di 15', e mediante un nonio quello di 1'. Per mezzo di un livello fisso alla colonna si verifica la verticalità di essa; con un livello a staffa quella del circolo; e finalmente un terzo livello fa le veci del secondo cannocchiale, onde verificare se il circolo ha subito qualche spostamento durante la rotazione del cannocchiale.

vale a dire l'angolo *a* O *b*, formato dalle intersezioni O *a*, O *b* di questi due piani verticali col piano orizzontale H H. Conosciuti che siano l'angolo A O B, misurato col circolo ripetitore, e gli angoli Z O A, Z O B, che non sono altro che le distanze zenitali dei punti A, B, si può dedurre l'angolo *a* O *b* con una costruzione geometrica, o con un calcolo trigonometrico. Ma sarebbe molto più comodo il poter misurare direttamente quest'angolo; ed è a questo scopo che si è imaginato il *teodolite*, di cui daremo ora la descrizione.

Questo strumento è rappresentato dalla figura 99. Esso si compone essenzialmente di due cerchi graduati, l'uno dei quali è verticale, e l'altro orizzontale. Il primo di questi due cerchi A, è adattato all'estremità d'un asse orizzontale B, intorno al quale ruotando, ruota eziandio sopra sè stesso. L'asse B è portato dall'estremità superiore d'un asse verticale C, intorno a cui il cerchio A e l'asse B possono ruotare con movimento comune. Un contrappeso D serve ad equilibrare il peso del cerchio A, riconducendo sull'asse verticale C il centro di gravità di tutto quanto è mobile intorno a quest'asse. Il secondo cerchio E ha il proprio centro esattamente situato sull'asse verticale C, e può ruotare nel suo piano intorno a quest'asse.

Il piede dello strumento si appoggia mediante tre viti siccome il cerchio ripetitore. Un livello F, situato presso alla faccia interiore del cerchio verticale A, serve a disporre l'asse C esattamente verticale, operando siccome abbiam detto pel cerchio ripetitore (43). Questo livello non può ruotare intorno al cerchio verticale, siccome accadeva nel cerchio ripetitore, ov'era portato dal cannocchiale inferiore; ma gli si può dare un tenue movimento per mezzo della vite *a*, la quale è destinata ad elevare od abbassare di poco una delle sue estremità, facendolo ruotare intorno ad un piccolo asse situato all'altra sua estremità; in questa maniera si può giungere a portare la bolla del livello esattamente nel mezzo della lunghezza del tubo, quando l'asse C è verticale.

Ottenuta la verticalità dell'asse C, si deve ridurre il piano del cerchio A ad essere esattamente verticale. A tale effetto l'asse B di questo cerchio trovasi così disposto da poter prendere un piccolo movimento intorno al piccolo asse *b*, potendosi mediante una vite *c* elevare od abbassare ad arbitrio l'estremità dell'asse B, facendolo ruotare intorno a *b*, ed in conseguenza rendere il cerchio A esattamente verticale, nel caso si trovasse leggermente inclinato nell'uno o nell'altro verso. Per ricono-

scere se questo cerchio è esattamente verticale, o, ciò che torna lo stesso, se l'asse B, intorno cui esso ruota, è esattamente

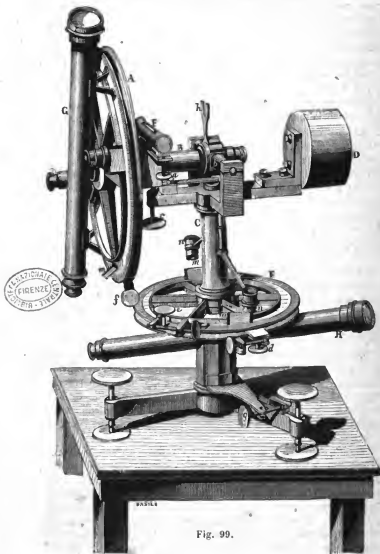



Fig. 99.

orizzontale, si adopera un livello mobile, rappresentato qui a parte dalla figura 100. Questo livello è munito alle sue due estremità di due piedi, pei quali si può appoggiarlo sopra due parti dell'asse B, che sono cilindriche e dello stesso diametro. Una piccola forcella *h* (fig. 99) sostiene il corpo del livello in questa posizione, e impedisce che cada dall'una o dall'altra parte. Collocato il livello sull'asse B, ed osservata la posizione che la bolla occupa nel tubo, lo si toglie per rimettervelo di nuovo invertendolo, e si esamina se la bolla riprende la medesima posizione. Con ciò si può sapere se l'asse B sia esattamente orizzontale, ovvero se si deve far girare la vite *c* nell'uno o nell'altro verso per raggiungere questa orizzontalità.

Fig. 100.

Al cerchio verticale A trovasi adattato un cannocchiale G, il quale è fissato ad un altro intiero circolo, quasi incastrato nel cerchio A, e che muovesi nell'interno di esso toccandolo con tutto il suo contorno. Parimente tutta la parte dell'istrumento che sormonta il circolo orizzontale E è invariabilmente collegata ad un intiero circolo, che muovesi dentro al circolo E, corrispondendovi esattamente in tutti i punti. Una morsetta *d*, munita di una vite di pressione e di un'altra di richiamo, serve a fissare il cerchio E al piede dello strumento, e a dargli all'uopo un lento moto intorno all'asse C. Un'altra morsetta *e*, analoga alla precedente, serve a fissare al cerchio E tutta la parte dell'istrumento che gli è sovrastante. Una terza morsetta *f* serve a fissare il lembo del cerchio A impedendo che ruoti intorno al suo centro. Finalmente una quarta morsetta, che non vedesi nella figura, è destinata a fissare il cannocchiale G al cerchio A.

Al piede dello strumento è adattato un secondo cannocchiale H, il quale non è capace che d'un debole movimento in diverse direzioni da ambedue le parti dell'attuale sua posizione. Questo cannocchiale non serve ad altro ufficio che di verificare se il piede dello strumento non abbia subìto il menomo spostamento durante tutta l'operazione. Perciò si approfitta del piccolo movimento di cui è suscettibile, per condurre il suo asse ottico nella direzione di un punto qualsivoglia, facile a riconoscersi, e situato a distanza alquanto grande dal luogo ove è collocato lo strumento; e di tempo in tempo, durante le operazioni che si fanno coll'istrumento, si verifica se l'asse ottico del cannocchiale H mantenga esattamente la direzione datagli da principio. Una vite di richiamo *g* serve a muovere lentamente questo

cannocchiale, per ridurre il suo asse ottico nella direzione del punto particolare preso come segnale.

46. Per misurare l'angolo compreso tra i due piani verticali passanti per due oggetti si fa ruotare dapprima tutta la parte superiore dell'istrumento, indipendentemente dal lembo graduato E, finchè l'indice tracciato sul cerchio che muovesi nell'interno di questo lembo coincida esattamente collo zero della graduazione, e un tal cerchio si fissa al lembo E in questa posizione mediante la morsetta *e*; allora si fa ruotare il lembo E con tutto quanto lo sormonta, e si fa muovere nello stesso tempo il cannocchiale G intorno al centro del circolo A, finchè l'asse ottico di questo cannocchiale venga a dirigersi esattamente verso il primo dei due oggetti che hannosi ad osservare; si fissa il lembo E in questa posizione per mezzo della morsetta *d*, poi, allentata la morsetta *e*, si fa ruotare tutta la parte superiore dello strumento intorno all'asse C, in guisa da condurre l'asse ottico del cannocchiale G a passare pel secondo oggetto: l'indice del cerchio, che muovesi nell'interno del lembo E, ha descritto con ciò sopra questo lembo un arco che misura l'angolo richiesto, e il cui valore si può leggere sulla graduazione, se non vuolsi ripetere l'angolo. Che se si vuole impiegare il principio della ripetizione degli angoli, si fissa la parte superiore dell'istrumento al lembo E nella nuova posizione ad esso data, si allenta la morsetta *d*, e si fa ruotare il lembo E con tutto quanto sta sopra di esso, finchè il cannocchiale venga di nuovo a dirigersi al primo oggetto; allora si ferma il cerchio E in questa posizione, fissandovelo mediante la morsetta *d*, poi se ne libera la parte superiore dell'istrumento, che si fa ruotare finchè il cannocchiale G sia diretto al secondo oggetto: è chiaro che con ciò l'indice del cerchio interno al lembo E ha descritto un nuovo arco eguale a quello che aveva già descritto nella prima operazione. Continuando della stessa maniera, si può far percorrere a questo indice un arco tre, quattro, cinque.... volte maggiore di quello che serve di misura all'angolo richiesto, e la lettura di quest'arco multiplo somministrerà un valore esattissimo dell'angolo. Questa lettura si fa, come nel circolo ripetitore, con parecchi nonii, le cui divisioni sono illuminate mediante piccole laminette di vetro smerigliato *m*, *m*; e per poter osservare con facilità le indicazioni si possono condurre i microscopii *n*, *n* al di sopra di questi nonii.

Il teodolite può, al pari del cerchio ripetitore, essere impiegato nella misura delle distanze zenitali (44). In questo caso la

lettura dell'angolo deve farsi sul circolo verticale, o piuttosto deve farsi la lettura del multiplo di quest'angolo risultante dalle eseguite operazioni.

47. La direzione secondo la quale si vede un oggetto può essere indicata dall'angolo che questa stessa direzione forma colla verticale e insieme dall'angolo che il piano verticale passante per l'oggetto fa con un piano verticale particolare preso per piano di paragone; basterebbe infatti conoscere questi due angoli per sapere senz'alcuna ambiguità in qual direzione trovisi l'oggetto. Il primo di questi angoli è quello che abbiamo chiamato distanza zenitale dell'oggetto, l'altro dicesi il suo *azimuto*. Il teodolite serve eminentemente a somministrare insieme i valori di questi due angoli, ritenuto per altro che non se ne voglia eseguire la ripetizione. Supponiamo infatti che il lembo E sia stato fissato, mediante la morsetta *d*, in tal posizione che, trovandosi l'indice che si muove lungo queste divisioni a corrispondere allo zero, il cannocchiale G sia diretto nel piano verticale fisso a partire dal quale contansi gli azimuti; supponiamo in oltre che il lembo del cerchio A sia stato collocato per modo che l'indice mobile col cannocchiale G trovisi sullo zero di esso quando l'asse ottico del cannocchiale sia esattamente verticale: basterà in tal caso far ruotare tutta la parte superiore dell'istrumento intorno all'asse C indipendentemente dal lembo E, ed il cannocchiale G intorno al centro del cerchio A indipendentemente da questo cerchio, finchè l'asse ottico del cannocchiale venga a dirigersi all'oggetto particolare che si considera: l'azimuto di questo oggetto sarà somministrato dal cerchio E, e la sua distanza zenitale dal cerchio A.

Il circolo orizzontale E è per questa ragione indicato soventi volte col nome di circolo azimutale. Lo stesso è del piccol cerchio graduato che vedesi al basso della colonna del circolo ripetitore (fig. 80 a pag. 85), e che serve egualmente a misurare gli azimuti, sebbene con molto minore esattezza (*).

(*) In due pregevolissimi teodoliti esistenti al nostro osservatorio, ed usciti ambedue dall'officina di Monaco, alla colonna C sono sostituiti due sostegni, sui quali si appoggiano le estremità dell'asse orizzontale: il cerchio verticale trovasi congiunto con quest'asse verso una delle sue due estremità, mentre il cannocchiale è portato dall'asse medesimo nel suo mezzo. Nel maggiore di questi teodoliti il circolo azimutale è di un piede di diametro ($0^m,32$); porge direttamente l'arco di 5', ed ha quattro nonii, da ciascuno dei quali si ha l'arco di 20''; il circolo verticale è del diametro di 5 pollici ($0^m,13$), dà direttamente l'arco di 15' e mediante un

48. Sestante. — La misura d'un angolo, eseguita per mezzo di uno degli strumenti di cui abbiamo parlato, suppone di necessità che lo strumento appoggi sopra un sostegno assolutamente fisso: non possono quindi tali strumenti essere impiegati dai marinai durante i loro viaggi, a cagione della mobilità dei navigli che li portano. Per altro anche i marinai hanno d'uopo di misurare di tempo in tempo certi angoli, per determinare la posizione in cui essi si trovano, ed è perciò che si sono imaginati gli ***strumenti a riflessione***, che possono essere adoperati senza aver d'uopo che appoggino sopra un sostegno fisso, e coi quali si può misurare un angolo dirigendo una sola visuale. Tra gli strumenti a riflessione, il ***sestante*** è il più usato, ed eccone la descrizione.

Questo istrumento si compone d'un lembo graduato A A (fig. 101), che forma press'a poco la sesta parte d'un circolo

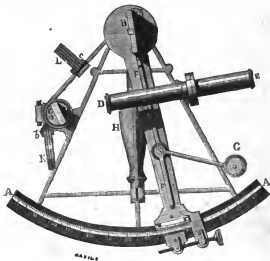



Fig. 101.

intiero (da cui il nome di sestante). Perpendicolarmente alla sua superficie trovansi adattati due specchi piani B, C, i quali sono

nonio quello di 1'. Nel minore il circolo azimutale è di 8 pollici di diametro ($0^m,22$), somministra direttamente l'arco di 10', e da ciascuno de' suoi quattro nonii si ha l'arco di 10"; il circolo verticale di 6 pollici di diametro ($0^m,16$) è diviso come nell'altro.

destinati a riflettere i raggi di luce che provengono dagli oggetti osservati, siccome ora spiegheremo. Un cannocchiale D E, fissato ad uno dei lati dello strumento, è diretto verso il piccolo specchio C, e serve a ricevere i raggi di luce che ne provengono per introdurli nell' occhio. Questo piccolo specchio C è fisso sul sestante; ma non è così del grande specchio B, che può ruotare intorno al centro del lembo insieme ad un' alidada F colla quale fa corpo. Per mezzo di un indice e di un nonio, portati dall'estremità di quest' alidada, si può leggere sul lembo graduato la quantità di cui il grande specchio ha ruotato; una vite di pressione ed un' altra di richiamo, analoghe a quelle di cui abbiamo già parlato, servono a fissare l' alidada al lembo e a dargli, siccome allo specchio B, un moto lento, pel cui mezzo si possono condurre esattamente alla posizione che debbono occupare. Un microscopio G è adattato all' alidada F, ed insieme al pezzo che lo porta può ruotare intorno al punto *a*, in guisa da poter essere condotto sopra le divisioni del nonio. Un' impugnatura H, situata al di sotto dello strumento, serve per portarlo durante l'osservazione, come si vede nella figura 102. Mentre l'osservatore prende colla mano destra lo strumento per l'impugnatura H, agisce colla sua mano sinistra all'estremità dell' alidada, sia spingendola o tirandola liberamente lungo il lembo, sia stringendo la vite di pressione, per girare in seguito la vite di richiamo, onde condurre esattamente il grande specchio nell' opportuna posizione.

Fig. 102.

I due specchi B, C sono di vetro a facce piane e parallele; però il piccolo specchio C non è coperto della foglia mettalica per tutta la sua altezza, ma soltanto per la metà inferiore fino alla retta *m n* (fig. 103), in guisa che tutta la parte situata al di sopra di questa retta è trasparente, e lascia passare i raggi di luce senza far loro provare alcuna deviazione.

Fig. 103.

49. Per misurare un angolo col mezzo di un sestante, lo si prende per l' impugnatura H, e ponendolo davanti all'occhio, come lo indica la fig. 102, lo s'inclina più o meno sino a condurlo nel piano dell' angolo. In appresso lo si dirige in questo piano per modo da vedere col cannocchiale l'oggetto pel quale passa uno dei lati dell'angolo da misurarsi. Il piccolo specchio C

non impedisce che si possa osservare direttamente quest'oggetto col cannocchiale; i raggi luminosi che ne provengono attraversano la parte superiore trasparente dello specchio, poi penetrano nel cannocchiale precisamente come se questo specchio non esistesse. Colla mano sinistra si fa quindi girare l'estremità dell'alidada insieme al grande specchio B intorno al centro del lembo, continuando a guardare nel cannocchiale; durante questo movimento veggonsi passare successivamente differenti imagini davanti l'imagine immobile dell'oggetto verso cui è diretto il cannocchiale; sono esse le imagini di oggetti più o meno lontani del primo, donde provengono dei raggi luminosi, che penetrano nel cannocchiale dopo aver subita una prima riflessione sullo specchio B ed una seconda sulla parte non trasparente dello specchio C. Si ferma l'alidada all'istante in cui, tra le imagini che si succedono, scorgesi quella dell'oggetto che determina il secondo lato dell'angolo; e dopo aver stretta la vite di pressione, si fa girare la vite di richiamo, in guisa da condurre l'imagine mobile di questo oggetto a coincidere esattamente coll'imagine fissa dell'oggetto verso cui il cannocchiale è diretto, e che trovasi sul primo lato dell'angolo. La posizione che l'indice dell'alidada occupa sul lembo graduato fa conoscere allora la grandezza dell'angolo richiesto, siccome cercheremo di far comprendere facilmente.

Supponiamo che l'alidada sia stata dapprima disposta sul lembo in modo che il grande specchio occupi la posizione *d d*, nella quale è parallelo al piccolo specchio C (fig. 104). Quando il cannocchiale D E sarà diretto verso un oggetto R lontanissimo, si vedrà nel suo interno non solamente un'imagine diretta di quest'oggetto, ma ancora una seconda imagine dello stesso oggetto, prodotta dai raggi, che saranno stati doppiamente riflessi dagli specchi B, C. Ma queste due imagini si confonderanno talmente l'una coll'altra da sembrare una sola.

Fig. 104.

Vedesi in fatti che un raggio R B che cade sul grande specchio si riflette una prima volta secondo B C, poi una seconda volta secondo una direzione esattamente parallela alla sua primitiva

direzione; per cui si trova nelle stesse condizioni come se venisse direttamente dall'oggetto lontano R, senza aver subito riflessione alcuna. Ma spostando il grande specchio B, col muovere l'alidada sul lembo, l'imagine dell'oggetto R cessa dall'apparire raddoppiata: l'imagine diretta rimane immobile; quella prodotta per duplice riflessione se ne allontana, e vengono a sostituirvisi successivamente le imagini di diversi altri oggetti, prodotte egualmente da una duplice riflessione sui due specchi. Quando il grande specchio è stato condotto nella posizione *d' d'*, coll' imagine diretta del punto R coincide l'imagine doppiamente riflessa d'un punto lontano, per esempio, S. Ora lo specchio passando dalla posizione *d d* alla posizione *d' d'*, ha ruotato d'un angolo *e* B *e'*; la perpendicolare B N a questo specchio ha dovuto ruotare d'un angolo eguale N B N', per assumere la posizione B N'; l'angolo di riflessione N B C si è dunque accresciuto d'un angolo eguale ad *e* B *e'*. Ma l'angolo d'incidenza d'un raggio che si riflette secondo B C, angolo che era dapprima R B N, ha dovuto accrescersi della stessa quantità, poichè quest'angolo è sempre eguale all'angolo di riflessione; dunque la somma di questi due angoli, vale a dire l'angolo formato dal raggio incidente e dal raggio riflesso, ha dovuto accrescersi d'una quantità S B R doppia dell'angolo *e* B *e'*. Da ciò si comprende che se l'imagine doppiamente riflessa del punto S coincide coll'imagine diretta del punto R, le direzioni dei raggi che provengono da questi due punti fanno tra esse un angolo doppio dell'angolo *e* B *e'*, vale a dire dell'angolo di cui si ha fatto ruotare l'alidada per condurre il grande specchio dalla posizione *d d* alla posizione *d' d'*, che ha prodotta questa coincidenza delle imagini dei punti R, S. Perchè l'indice dell'alidada faccia conoscere immediatamente l'angolo formato da queste due direzioni dei punti osservati R, S, si pone lo zero della graduazione del lembo al punto ove si ferma l'indice, quando il grande specchio occupa la posizione *d d*, vale a dire quando è parallelo al piccolo specchio; in oltre si divide il lembo, a partire da questo punto, in parti che siano la metà in grandezza di quelle che si avrebbero sul lembo d'un circolo ordinario, mantenendo loro per altro le medesime denominazioni: così un arco che corrisponda ad un angolo al centro di 5 gradi è indicato sul lembo come se fosse di 10 gradi. Dietro ciò, stabilita la coincidenza tra l'imagine diretta d'un punto e l'imagine doppiamente riflessa d'un altro punto, basta leggere il numero di gradi, minuti e secondi della graduazione cui corrisponde

l' indice dell'alidada, e questo numero sarà il valore dell'angolo compreso dalle rette congiungenti questi due punti col luogo di osservazione.

50. Il cannocchiale adattato al sestante non è assolutamente indispensabile per l' indicata operazione, e gli può essere sostituito, come si usa talvolta, un semplice tubo destinato a fissare la direzione secondo cui si deve guardare. Ma oltre al potersi col cannocchiale distinguere molto meglio gli oggetti lontani che si osservano, esso dà luogo ad una particolarità importante, che merita d'essere menzionata.

Supponiamo, per fissare le idee, che si osservi direttamente un cerchio bianco I (fig. 105), e che il grande specchio del sestante

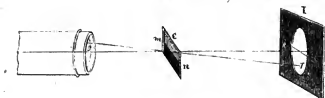



Fig. 105.

sia stato condotto ad essere parallelo al piccolo specchio C. Se pel centro dell'occhio e per la retta *m n*, che limita la parte riflettente del piccolo specchio, si conduce un piano, questo taglierà il cerchio I in due parti secondo la retta *p q*. L' occhio, guardando nella direzione del piccolo specchio C, senza interposizione del cannocchiale, vedrà direttamente la porzione del cerchio I, che è al di sopra della retta *p q*, e per duplice riflessione la porzione del cerchio che è al di sotto di questa retta; se vedrà così un intiero circolo, ciò deriva dal corrispondersi esattamente le imagini di queste due parti. Facendo muovere alquanto il grande specchio, mediante l'alidada che gli è fissata, si vedrà la parte superiore del cerchio I rimanere immobile e spostarsi la sua parte inferiore; e le due porzioni di cerchio non si corrisponderanno più fra loro in guisa da formare un circolo intiero.

Coll' applicazione d' un cannocchiale succede tutto diversamente. In luogo di non vedere direttamente che la porzione del cerchio I, che trovasi al di sopra della retta *p q*, vedesi tutto questo circolo; e parimente, in luogo di non vedere per duplice riflessione che la porzione di questo cerchio, che è al di sotto di *p q*, vedesi egualmente tutto questo cerchio. Per poter

comprendere ciò, consideriamo un punto *r* situato al di sotto della retta *p q*: quando non si fa uso del cannocchiale questo punto non può mandare alcun raggio di luce all'occhio, giacchè resta nascosto dalla parte riflettente dello specchio C; ma quando si osserva con un cannocchiale, alcuni raggi partiti da questo punto, siccome *r s*, per esempio, possono attraversare lo specchio C nella sua parte trasparente, e cadere sull'obiettivo; la deviazione che fa loro subire l'obiettivo li riconduce allora verso l'occhio, e possono penetrarvi a malgrado dell'ostacolo che trovasi frapposto fra il punto *r* e l'occhio. Così l'occhio, guardando nel cannocchiale, non vedrà più soltanto la porzione del cerchio I situata al di sopra di *p q*, sibbene tutto il circolo intiero, purchè per altro questo circolo non sia troppo grande. Accade lo stesso per l'imagine doppiamente riflessa, la quale non si riferirà più soltanto alla parte del cerchio situata al di sotto di *p q*, ma alla totalità del cerchio medesimo. L'unico cerchio che si vedrà quando i due specchi saranno paralleli l'uno all'altro non risulterà dunque più dal corrispondersi esattamente l'imagine diretta di una parte del circolo coll'imagine doppiamente riflessa dell'altra parte; ma proverrà dalla sovrapposizione dei due intieri circoli, l'uno de' quali è l'imagine diretta del cerchio I, e l'altro un'imagine doppiamente riflessa del medesimo cerchio. Sarà facile il comprendere quanto importante sia una tal circostanza per la comodità e l'esattezza delle osservazioni.

Il cannocchiale non è d'ordinario fissato invariabilmente al sestante; ma si può farlo muovere parallelamente a sè stesso, in un piano perpendicolare alla superficie dello strumento, vale a dire allontanarlo o avvicinarlo più o meno a questa superficie. Con questo movimento la retta *m n* del piccolo specchio si conduce ad essere esattamente a livello del centro dell'obiettivo, od anche al di sotto o al di sopra di questo punto, e ad una distanza più o meno grande; ed è chiaro che risulta con ciò una modificazione nelle intensità rispettive delle due imagini. Infatti quando si allontana il cannocchiale dall'istrumento aumenta l'intensità dell'imagine diretta e diminuisce ad un tempo quella dell'imagine doppiamente riflessa; ha luogo il contrario quando si avvicina il cannocchiale al piano del lembo. Si comprende dunque come con ciò si possano ridurre le due imagini ad avere intensità press'a poco eguali, per cui si può stabilire più esattamente la coincidenza di due dei loro punti.

Quando si osservano oggetti la cui luce sia troppo intensa, come il sole e talvolta la luna, si adoperano lamine di vetro

colorato disposte in K, L (fig. 101), di cui le une, mobili intorno alla cerniera *b*, si possono disporre dietro il piccolo specchio per diminuire lo splendore dell' imagine diretta, e le altre, mobili intorno alla cerniera *c*, possono frapporsi fra i due specchi, a fine di indebolire l'imagine doppiamente riflessa.

51. Perchè il sestante possa somministrare esatte indicazioni è necessario: 1.° che le facce dei due specchi siano esattamente perpendicolari al piano del lembo; 2.° che l'indice dell'alidada corrisponda con pari esattezza allo zero della graduazione quando i due specchi sono paralleli. Ecco con quali mezzi si assicura che queste condizioni siano soddisfatte. Guardando nella direzione del grande specchio, ed alquanto da una parte, si possono vedere nello stesso tempo una porzione del lembo dello strumento e la sua imagine nello specchio; questi due archi di cerchio, uno de' quali è veduto direttamente, e l'altro per riflessione nello specchio, devono essere esattamente l'uno nel prolungamento dell'altro, senza di che lo specchio non sarebbe perpendicolare al piano del lembo. Eseguita questa prima verificazione, se si conduce l'indice dell'alidada allo zero della graduazione, poi si guarda nel cannocchiale, non si dovrà vedere che una sola imagine netta dell'oggetto osservato: se si vedessero due imagini soltanto, press'a poco coincidenti, ciò indicherebbe che il piccolo specchio non è parallelo al grande. I due specchi poi trovansi forniti di viti, mediante le quali si può modificare la loro posizione in guisa che queste due condizioni vengano a raggiungersi con una grande esattezza.

CAPITOLO SECONDO

DEL MOTO DIURNO E DELLA FIGURA DELLA TERRA

PRIME NOZIONI SULLA TERRA

52. Prima d'incominciare lo studio dei fenomeni celesti è d'uopo esaminare le condizioni nelle quali ci troviamo per osservarli, e farci un'idea alquanto precisa di ciò che sia questa terra che noi abitiamo, che ci serve per così dire di osservatorio, ed alla quale riferiamo le successive posizioni degli astri per determinare le leggi dei loro movimenti.

La prima idea che ci si presenta è che la superficie della terra sia piatta ed estesa indefinitamente in ogni direzione, ed in oltre che il volume della terra si sprofondi pure indefinitamente. L'esame attento de' fenomeni che si osservano nei viaggi mostra che questa idea è onninamente falsa, siccome stiamo per vedere.

53. **Rotondità della superficie del mare.** — Una considerevol parte della superficie della terra è occupata dalle acque del mare; ora le più semplici osservazioni fan vedere che la superficie di queste acque è molto sensibilmente arrotondata. Collocandosi in riva al mare, sopra una costiera alquanto elevata, ed osservando un battello a vapore che s'avvicini alla costa, non vedesi dapprima che una porzione del suo fumajolo col fumo

Fig. 108. Fig. 107. Fig. 106.

che ne sfugge (fig. 106). Avvicinandosi sempre più il battello, sembra uscire dall'acqua, ed in capo a qualche tempo lo si scorge

projettarsi intieramente sul cielo e sorgere sulla linea ben distinta colla quale il mare sembra che termini (fig. 107): da quel momento il battello sembra che discenda sulla superficie del mare, su cui finisce per projettarsi completamente (fig. 108). Se il battello a vapore s'allontanasse dalla costa invece d'avvicinarvisi, si osserverebbero le stesse cose, ma in verso contrario. Lo si vedrebbe dapprima projettarsi tutto intiero sulla superficie del mare, e sembrerebbe elevarvisi sempre più fino a raggiungere la linea che ne costituisce il limite apparente; poi a poco a poco disparirebbe, e il suo fumajolo, che si vedrebbe per l'ultimo, finirebbe pure per disparire intieramente. Se in questo momento c'innalzassimo rapidamente, salendo per esempio in cima di una torre, potremmo rivedere ancora una porzione più o men grande del battello; ma continuando esso sempre ad allontanarsi, anche questa porzione che vedremmo dall'alto della torre diminuirebbe progressivamente, e dopo breve tempo cesseremmo una seconda volta di distinguerlo. Questi fatti, che tutti poterono osservare in riva al mare, provano incontrastabilmente che la superficie del mare è arrotondata, e gli è soltanto per mezzo della convessità di questa superficie che possiamo rendercene completamente ragione. Sia in fatti M N (fig. 109) la superficie del mare, e sia A il punto in cui al principio trovasi collocato l'osservatore: se dal punto A si conduce una tangente A B

Fig. 109.

alla curva M N, sarà B il limite col quale il mare sembra che termini. Il battello a vapore, trovandosi da principio in C, presentasi all'osservatore al modo indicato dalla figura 108; quando raggiunge il punto B si presenta nella posizione della figura 107; finalmente quando ha sorpassato questo punto ed è venuto in D, l'osservatore non ne ravvisa più che la parte che trovasi al di sopra del prolungamento della retta A B (fig. 106). Se in appresso l'osservatore passa da A in A', la tangente A' B', abbassandosi sotto il prolungamento della tangente A B, fa sì che si possa ancora osservare una porzione del battello qualche tempo dopo che lo si ha visto disparire affatto stando nel punto A. Sarebbe impossibile al contrario spiegare i fatti che si osservano quando non si voglia ammettere che la superficie del mare sia arrotondata; in questo caso, qualunque sia la posizione del battello sul mare, in B, in C, in D (fig. 110), lo si vedrebbe sempre intieramente

stando nel punto A e non si cesserebbe di scorgerlo che quando fosse troppo lontano; ma non sarebbe allora la parte inferiore del battello che sparirebbe la prima: finchè si scorgesse il battello, lo si vedrebbe tutto.

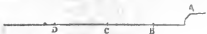



Fig. 110.

Si può fare un'osservazione dello stesso genere trovandosi sopra una nave che si allontana dalla costa. Per qualche tempo si veggono completamente gli oggetti che sono in riva al mare: ma ben tosto questi oggetti spariscono in parte; non vedesi più la porzione inferiore della costiera; poi anche la costiera sparisce totalmente, e non si scorgono più che gli alberi e le costruzioni di maggiore altezza; infine anche questi ultimi oggetti si nascondono alla loro volta dietro la specie di montagna liquida che si frappone tra essi e l'osservatore, elevandosi questa sempre più rapporto ad essi.

È noto che dopo un viaggio bastantemente lungo i marinai cominciano a vedere la terra dall'alto dell'alberatura molto tempo prima che possano vederla dal ponte della nave.

Non è però soltanto vicino alle coste che si può riconoscere essere la superficie del mare arrotondata: osservazioni affatto analoghe a quelle di cui abbiamo parlato possono farsi egualmente in alto mare. Trovandoci sopra una nave, se un'altra ci s'avvicina, non ne veggiamo da principio che le cime degli alberi, ne scopriamo poi successivamente le vele e gli alberi, in appresso l'intiera nave ci sembra appoggiarsi sul lembo apparente del mare, in fine la nave par che discenda da questo lembo avvicinandosi sempre più.

54. **Rotondità della terra.** — Occupiamoci ora della parte solida della terra, vale a dire dei continenti. La superficie di questa parte solida è lungi dal presentare la regolarità che osservasi alla superficie del mare. Incontransi è vero in alcune località delle pianure continue di maggiore o minor estensione; ma più frequentemente le valli, le colline ed anche le catene di montagne si succedono in guisa da formare una superficie irregolare, ondulata e talvolta singolarmente accidentata. La superficie d'un continente però, considerata nel suo insieme e fatta astrazione dalle irregolarità di cui abbiam parlato, è arrotondata come la superficie del mare. Ecco dietro quali motivi si fu condotti ad ammetterlo come una verità incontestabile.

I continenti sono circondati da mari che ne segnano i limiti dalle diverse parti e che sovente penetrano per ben lungo tratto

nel loro interno. Ora, esaminando i lembi dei continenti, si riconosce che essi in nessun luogo si elevano molto al di sopra del livello dei mari vicini. Si vede dunque che i continenti partecipano verso i loro contorni della rotondità della superficie dei mari; ma gli è facile di riconoscere che questa rotondità s'incontra dovunque, anche allontanandosi dalle coste ed internandosi sempre più dentro terra; per modo che se s'imagina la superficie dei mari prolungata per tutta l'estensione dei continenti, questa superficie trovasi poco lontana da quella del suolo. Per dare un' idea netta di ciò che intendiamo per superficie dei mari prolungata attraverso ai continenti, supponiamo che siasi praticato entro terra un canale profondo sboccante nel mare alle sue due estremità, e che faccia così comunicare liberamente le acque che bagnano due punti qualunque delle coste lontane quanto si voglia l'una dall'altra; l'acqua porrassi in equilibrio in questo canale, e vi si eleverà ne' suoi diversi punti fino ad un certo livello: la superficie determinata dal livello dell'acqua per tutta l'estensione di questo canale, e in tutti gli altri canali dello stesso genere che si ponno imaginare attraverso il continente, è ciò che noi chiamiamo la superficie prolungata dei mari. Ora è noto essere i continenti solcati in tutti i versi da una considerevole quantità di corsi d'acqua, che si riuniscono successivamente per portare le loro acque nei vicini mari; ed è noto di più che, per la poca rapidità che presentano abitualmente questi corsi d'acqua, la pendenza del loro letto è quasi sempre piccolissima, e in conseguenza la superficie dell'acqua vi è quasi parallela alla superficie prolungata dei mari. Devesi dunque conchiudere che generalmente il suolo dei continenti poco si allontana da questa superficie ideale. Non avvi eccezione che per le catene di montagne le cui sommità si elevano ad altezze considerevoli al di sopra di essa; però anche queste non producono sulla superficie generale della terra che delle protuberanze paragonabili alle rugosità della scorza di un arancio. Laonde si può dire che il suolo dei continenti, astrazion fatta dalle irregolarità che vi s'incontrano, presenta nel suo insieme un incurvamento affatto simile a quello che si osserva sulla superficie dei mari.

La rotondità della superficie dei mari e dei continenti venne assolutamente comprovata dai viaggi che si effettuarono in ogni direzione e quasi sulla totalità della superficie della terra: la possibilità di compiere il giro del mondo, come fecero moltissimi navigatori, ne porge una prova novella e delle più splendide. Questa rotondità presentasi d'altronde da per tutto cogli

stessi caratteri, per modo che se ne conchiude necessariamente essere la curvatura della superficie della terra ne' suoi differenti punti sensibilmente la stessa. Si è quindi obbligati di considerare la terra come un corpo press' a poco sferico, o, secondo l'espressione ammessa, siccome uno *sferoide* (*).

(*) Mano mano che un osservatore si eleva al di sopra della superficie terrestre si distende al suo sguardo una maggiore estensione della superficie medesima: è questo uno de' primi argomenti coi quali venne provata la rotondità della superficie del mare (53). Per un osservatore che si potesse immaginare coll'occhio collocato su questa superficie, la porzione di orizzonte visibile si ridurrebbe, per così dire, a un punto matematico, giacchè sarebbe limitata dal piano *orizzontale* corrispondente al punto in cui trovasi l'occhio, vale a dire dal piano tangente la superficie della terra in quel punto. Così, essendo l'occhio dell'osservatore in A (fig. 111) sulla superficie del mare, il limite della visibilità è determinato dal piano tangente qui rappresentato colla retta G H. Elevandosi poi successivamente l'osservatore, i raggi visuali segnanti i limiti della porzione visibile della superficie terrestre debbono sempre più inclinarsi alla verticale corrispondente al punto ove portasi il suo occhio. Così se l'occhio trovasi in D, e se da questo punto s'imagina condotta una tangente D E L alla superficie terrestre, e ruotare questa tangente tutto intorno alla verticale A D lambendo sempre questa superficie, i punti successivi di contatto con essa determineranno la linea E R F S, limite visibile della superficie medesima. Chè se l'occhio dell'osservatore si eleva fino in D', il limite visibile della superficie terrestre sarà la linea E' R' F' S' similmente generata. Se ora s'imagina anche il piano orizzontale passante per l'occhio dell'osservatore in D ovvero in D', piano qui rappresentato colla retta P Q, ovvero P' Q', l'angolo formato da questo piano orizzontale con una visuale tangente la superficie terrestre, per esempio, l'angolo P D L, ovvero P' D' L', dicesi *depressione dell'orizzonte* corrispondente a quella medesima visuale. Ora qualunque sia l'altezza alla quale si porti l'osservatore, e per qualunque regione della terra, si trova

Fig. 111.

55. La terra è isolata nello spazio, e può essere in moto. — Questa mole che costituisce la terra e che è arrotondata

che la depressione dell'orizzonte è eguale in ogni verso, e che la curva del limite della parte visibile della superficie terrestre è dovunque una circonferenza di cerchio: è da ciò veramente che si può desumere essere la curvatura della terra assai prossimamente *sferica*, la sfera soltanto potendo essere dovunque toccata da superficie di coni retti a basi circolari. L'orizzonte della superficie del mare è più specialmente favorevole a simili osservazioni, a cagione della sua uniformità non interrotta da alcuna ineguaglianza, sebbene anche sulla terra ferma si renda manifesta la depressione eguale in ogni verso, sopra tutto quando l'elevazione sia grande; giacchè allora i monti lontani che lambiscono l'orizzonte non vi producono che delle leggerissime ondulazioni, tali che la curvatura sferica possa venir ancora riconosciuta. Quantunque simili osservazioni non possano addurre a conseguenze rigorosamente esatte, attesa la piccola estensione abbracciata sempre dal raggio visuale; valgono però a giustificare una prima approssimazione.

Ciò posto, dalla misura della depressione dell'orizzonte corrispondente ad una data elevazione possiamo altresì formarci una prima idea, ed anche sufficientemente esatta, sulla grandezza della terra medesima. Difatti l'angolo della depressione dell'orizzonte P D E è eguale all'angolo A C E che misura la grandezza dell'arco terrestre A E visibile tutto intorno alla verticale A D; ed è noto che la lunghezza di quest'arco è contenuta nell'intiero diametro della terra A B tante volte quante l'arco medesimo A E contiene l'elevazione A D. Ma elevandosi di un metro e 1/4 al di sopra del livello del mare, per la depressione dell'orizzonte, il limite visibile si estende ad una distanza di 4 chilometri; e come 1 metro e 1/4 sono contenuti 3200 volte in 4 chilometri, così il diametro terrestre sarà approssimatamente 3200 volte 4 chilometri, ossia chilometri 12800, numero bastantemente vicino al vero.

Da questo risultamento di leggeri si comprende come non sia per nulla esagerato il confronto superiormente fatto tra le altezze delle maggiori montagne e le rugosità della scorza d'un arancio. Le più alte montagne della catena dell'Himalaya in Asia di poco sorpassano 8000 metri in altezza verticale; e questa non è che la 1600ma parte del diametro terrestre; per cui sopra un globo di 1 metro di diametro un monte di cotal altezza dovrebbe essere rappresentato da una sporgenza di 1/1600 di metro, vale a dire di 5/8 di millimetro. Le elevazioni in generale dei diversi continenti non arrivano che raramente alla metà di quelle somme altezze; quindi volendo rappresentare esattamente la terra sopra un tal globo, le sue scabrezze verrebbero ad essere poco maggiori della grossezza di un foglio di carta ordinario, ad eccezione delle più alte montagne, che potrebbero rassomigliarvisi a granelli di sabbia.

Le maggiori escavazioni praticate nelle più profonde miniere si può ritenere non raggiungano gli 800 metri al di sotto della superficie del mare, cioè 1/16000 del diametro terrestre; dovrebbero quindi rappresentarsi, sopra un globo di 1 metro di diametro, siccome graffiature o colpi di spilla di 1/16 di millimetro, e pertanto quasi microscopiche.

come una palla, è dessa portata da qualche sostegno? È questa una domanda che sorge naturalmente nell'animo di quelli che

Probabilmente l'ordinaria profondità del mare poco differisce dall'ordinaria elevazione dei continenti sul livello medesimo del mare, sebbene il cap. Denham, degli Stati Uniti d'America, abbia ultimamente esplorato ai Capo di Buona Speranza una profondità di oltre 22000 metri, e quindi assai maggiore delle massime elevazioni delle montagne. Sopra il globo lo discorso l'oceano si potrebbe quindi rappresentare mediante un sottil velo liquido dello spessore di circa 1/3 di millimetro.

A compimento di quanto abbiamo qui esposto riuscirà utile di aggiungere la tavola delle depressioni dell'orizzonte, e quindi l'estensione delle porzioni visibili di superficie terrestre corrispondenti alle diverse elevazioni sopra il livello del mare.

ELEVAZIONE dell'occhio sul livello del mare.	DEPRESSIONE dell'orizzonte.	DISTANZA		ELEVAZIONE dell'occhio sul livello del mare.	DEPRESSIONE dell'orizzonte.	DISTANZA	
		miglia ital. da 60 al gr.	chilometri.			miglia ital. da 60 al gr.	chilometri.
metri.				metri.			
0,00	0° 0′ 0″	0,0	0,0	70	0°16′ 7″	16,1	29,9
0,25	0.58	1,0	1,8	80	17.14	17,2	31,9
0.50	1.22	1,4	2,5	90	18.17	18.3	33,8
0,75	1.40	1,7	3,1	100	19.16	19.3	35,7
1,00	1.56	1,9	3,6	200	27.15	27.3	50,5
1,25	2. 9	2,2	4,0	300	33.22	33.4	61,8
1,50	2.22	2,4	4,4	400	38.32	38,5	71,4
1,75	2.33	2,5	4,7	500	43. 5	43,1	79.8
2,00	2.43	2,7	5,0	600	47 12	47.2	87,4
2,50	3. 3	3.0	5,6	700	50.59	51,0	94,4
3	3.20	3,3	6,2	800	54.30	54.5	100,9
4	3.51	3,9	7,1	900	57.48	57,8	107,0
5	4.19	4,3	8,0	1000	1. 0.56	60,9	112,8
6	4.43	4,7	8,7	1500	14.37	74,6	138,2
7	5. 6	5,1	9,4	2000	26. 9	86,2	159,6
8	5.27	5,5	10,1	2500	36.19	96.3	178,4
9	5.47	5,8	10,7	3000	45.31	105,5	195,4
10	6. 6	6,1	11,3	3500	53.58	114,0	211,0
12	6.41	6.7	12,4	4000	2. 1.50	121,8	225,6
15	7.28	7,5	13,8	4500	9.13	129,2	239,3
20	8 37	8,6	16,0	5000	16.12	136,2	252,2
25	9.38	9,6	17,8	5500	22.51	142,8	264,5
30	10.33	10,6	19,5	6000	29.11	149,2	276,3
35	11.24	11,4	21,1	6500	35.17	155,3	287,5
40	12.11	12,2	22,6	7000	41. 8	161,1	298,4
45	12.55	12,9	23,9	8000	52.15	172,2	319.0
50	13 38	13,6	25,2	9000	3. 2.41	182,7	338,3
60	14.55	14,9	27,6	10000	10.33	190,6	352.9

sentono per la prima volta a parlare della rotondità della terra, ed è ben facile il rispondervi. Se la terra fosse appoggiata sopra un corpo vicino in qualche parte della sua superficie, questo sostegno, che avrebbe di necessità grandissime dimensioni, si vedrebbe certamente da un gran numero di luoghi che vennero esplorati dai viaggiatori; ora nessuno non vide mai la menoma cosa che potesse indicare l'esistenza d'un simile sostegno. Da per tutto, nei numerosi viaggi che i navigatori effettuarono per visitare le diverse parti della superficie della terra, sempre si vide questa superficie totalmente distaccata da tutto ciò che può esistere al di sopra di essa. Si è dunque obbligati di ammettere essere lo sferoide terrestre un corpo isolato in mezzo allo spazio, non appoggiato su nulla, e trovarsi in condizioni analoghe a quelle, per esempio, d'una palla considerata in una qualunque delle posizioni che occupa dopo essere uscita dal cannone che l'ha lanciata e prima d'aver raggiunto lo scopo.

Ma, dirassi, come avviene egli che la terra non cade, se non trovasi da nulla sostenuta? Noi non siamo per ora in grado di rispondere a questa dimanda, o almeno di rispondervi adeguatamente; per cui aspetteremo a rispondere quando avremo acquistate le necessarie cognizioni perchè possiamo essere ben compresi, senza sollevare nessuna obiezione. Pel momento ci accontenteremo di ammettere, siccome risultante da osservazioni numerose e irrefragabili, che la terra è una mole press'a poco sferica e intieramente isolata nello spazio: osserveremo in oltre che questa mole, in conseguenza del suo completo isolamento, può benissimo trovarsi in moto. Ora, se la cosa è così, la mobilità del luogo in cui ci troviamo per osservare gli astri li farebbe apparire animati da moti molto diversi da quelli che possano realmente possedere. Dovrem dunque metterci in guardia contro le apparenze, e cercare di riconoscere se i movimenti osservati risiedono totalmente negli astri, ovvero se una parte di questi movimenti dovrebbe riguardarsi come derivante da ciò, che il luogo donde li osserviamo occupa successivamente diverse posizioni nello spazio.

56. **Atmosfera terrestre.** — L'aria in mezzo alla quale viviamo, e che serve alla nostra respirazione, esiste dovunque sulla superficie della terra; a qual si voglia altezza siasi elevati sulle montagne, sempre se ne è trovata. Quest'aria però non si estende indefinitamente nello spazio che circonda la terra; non forma intorno ad essa che uno strato che la involge da tutte

le parti e che dicesi *atmosfera terrestre*, o semplicemente atmosfera. Quantunque alcuno siasi giammai potuto elevare fino al limite esterno dell'atmosfera, si potè non di meno dimostrare che questo limite esiste, ed assegnare anche approssimatamente la distanza a cui trovasi dalla superficie della terra, distanza che altra cosa non è che lo spessore dello strato atmosferico.

Si dimostra facilmente che l'aria è pesante: un pallone di vetro, che si pesi successivamente vuoto e pieno d'aria, non ha lo stesso peso nei due casi. L'atmosfera terrestre deve dunque esercitare una pressione sulla terra in ragione del peso dell'aria che la compone; e questa pressione si misura mediante un istrumento che è qui rappresentato (fig. 112), e che dicesi *barometro*. Esso è formato di un tubo di vetro incurvato *a b c*, chiuso in *a*, aperto in *c*, e contenente una certa quantità di mercurio. Il mercurio vi è stato introdotto per modo che lo spazio che rimane al di sopra di esso, nel braccio maggiore *a b*, sia assolutamente vuoto di qualunque materia. Questa circostanza fa sì che il liquido non vi si elevi alla medesima altezza nei due bracci: la pressione atmosferica, che si esercita liberamente sul braccio minore, spinge il mercurio nell'altro braccio ove non prova pressione alcuna, e ve lo conserva ad un'altezza più o meno grande, secondo che essa medesima è più o meno intensa. La differenza di livello delle due superficie *d*, *e* del mercurio deve dunque servire di misura alla pressione atmosferica per il luogo in cui trovasi collocato il barometro. Ed è anche facile dedurne il valore numerico di questa pressione, riferita all'unità di superficie ed espressa in chilogrammi, siccome ora vedremo.

Imaginiamo che il braccio aperto *b c* del barometro sia prolungato al di sopra della superficie *e* del mercurio, conservando le medesime dimensioni trasversali che ha in vicinanza di questa superficie. Se si togliesse qualunque comunicazione dell'atmosfera con questo braccio del barometro, e si volesse esercitare ciò nulla ostante in *e* la stessa pressione di prima, vale a dire mantenere il mercurio nella posizione che occupa, versando una nuova quantità di mercurio nel braccio aperto, converrebbe evidentemente che questo mercurio addizionale si elevasse fino in *f*, al medesimo livello del punto *d* del braccio

a f d c e b
Fig. 112.

maggiore. Ma in questo caso la pressione sopportata dalla superficie del mercurio primitivo in *e* sarebbe eguale al peso del mercurio che vi si sarebbe aggiunto: quindi si può dire che la pressione esercitata dall'atmosfera in *e* è eguale al peso d'una colonna di mercurio che avrebbe per base la superficie *e* e per altezza la differenza di livello delle due superficie *d*, *e*. Quando il barometro è collocato vicino alla superficie del mare la differenza di livello del mercurio ne' suoi due bracci è per medio di 0^{m},76; la pressione esercitata dall'atmosfera sopra una superficie d'un centimetro quadrato è dunque in questo caso eguale al peso di 76 centimetri cubi di mercurio, vale a dire questa pressione è di 1ch.,033.

È poi evidente per altra parte che la pressione esercitata dall'atmosfera sopra una superficie di un centimetro quadrato è eguale al peso di tutta la quantità d'aria contenuta in un cilindro verticale che abbia per base questa superficie e che si innalzi per tutta l'altezza dell'atmosfera; così il barometro ci fa conoscere il peso di questa colonna d'aria, e può per conseguenza fornirci delle indicazioni sull'altezza alla quale essa s'eleva.

L'aria è compressibile ed elastica; la stessa quantità d'aria occupa un volume tanto più piccolo quanto più è compressa, e si dilata al contrario quanto più debole è la pressione ch'essa sopporta. Risulta da ciò che la densità dell'aria non dev'essere la stessa per tutta l'altezza dell'atmosfera; questa densità deve andare continuamente diminuendo a misura che si considerano degli strati d'aria sempre più lontani dalla superficie della terra, in ragione della progressiva diminuzione della pressione che l'aria vi prova per l'azione degli strati superiori. Se questa diminuzione di densità non esistesse, se l'aria si trovasse a qualunque altezza nelle medesime condizioni in cui trovasi vicino alla superficie del mare, l'altezza dell'atmosfera si potrebbe determinare colla maggiore facilità: supponendo, per esempio, che la temperatura dell'aria fosse di 0°, nel qual caso la sua densità sarebbe 10472 volte minore di quella del mercurio, l'altezza dell'atmosfera dovrebbe essere eguale a 10472 volte 0^{m},76, vale a dire essa sarebbe di 7958^{m},72.

L'altezza dell'atmosfera dev'essere in realtà molto maggiore di quella che abbiam trovata, a cagione del decremento progressivo della densità dell'aria a misura che va aumentando la sua distanza dal livello del mare. La determinazione di questa altezza presenta grandi difficoltà, sopra tutto a cagione delle differenti temperature che si osservano nelle diverse regioni atmo-

sferiche. Biot, discutendo le numerose osservazioni fatte a diverse altezze sulla pressione e sulla temperatura, sia salendo sui fianchi delle montagne, sia nelle ascensioni areostatiche, ha trovato che l'altezza dell'atmosfera non deve sorpassare 48000 metri, vale a dire dodici leghe da quattro chilometri ciascuna. Si comprenderà facilmente come questa altezza non possa determinarsi con molta esattezza mediante osservazioni unicamente fatte verso la parte inferiore dell'atmosfera, se si riflette alla difficoltà che si proverebbe nel riconoscere ove trovasi precisamente il suo limite superiore, anche quando si potesse trasportarsi a questo limite medesimo: lo stato d'estrema rarefazione dell'aria negli ultimi strati atmosferici farebbe sì che anche gl'istrumenti i più delicati che si potessero impiegare sarebbero insufficienti ad indicare i punti al di sopra dei quali l'aria comincia a mancare completamente (*).

Il limite che abbiamo assegnato all'altezza dell'atmosfera terrestre ci mostra come quest'atmosfera forma intorno alla terra un inviluppo di tenuissimo spessore relativamente alle dimensioni della terra medesima. Vedremo fra poco che il raggio della terra supposta sferica è maggiore di 6350000 metri (**): lo spessore dell'atmosfera è dunque al più eguale alla 132ma parte di questo raggio; per modo che se si rappresentasse la terra mediante un globo di un metro di diametro, l'atmosfera avrebbe sopra questo globo uno spessore minore di quattro millimetri. Lo strato di lanugine che copre la pelle d'una pesca è lungi dall'essere così sottile da poter fornire un'imagine conveniente dell'atmosfera terrestre.

57. **Rifrazioni atmosferiche.** — Noi non possiamo osservare gli astri che attraverso l'atmosfera della terra; ne derivano quindi necessariamente deviazioni maggiori o minori nella direzione dei raggi luminosi ch'essi ci mandano, e la conseguenza di tali deviazioni è di farci vedere gli astri in posizioni diverse da quelle in cui si trovano realmente. È dunque della massima importanza lo studio dell'influenza che l'atmosfera può avere sulle osservazioni astronomiche, per determinare gli effetti di tale influenza, ed arrivare a conoscere le direzioni secondo le quali vedrebbersi gli astri se l'atmosfera terrestre non esistesse.

È noto che quando un raggio di luce A B (fig. 113) passa da un mezzo M in un altro mezzo M′, assume generalmente

(*) All'approssimata determinazione dell'altezza dell'atmosfera servono anche le osservazioni sui crepuscoli.

(**) Vedi nota a pag. 116.

in questo secondo mezzo una direzione B C, che non è la stessa di quella che aveva dapprima. La *rifrazione* del raggio luminoso (chiamasi così una tale deviazione) si produce per modo che il raggio incidente A B e il raggio rifratto B C sono situati in un piano perpendicolare alla superficie D E di separazione dei due mezzi; ma questi due raggi fanno angoli disuguali colla perpendicolare a questa superficie condotta pel punto B. Quando i due mezzi M ed M′ siano della stessa natura, ma di diversa densità, come, per esempio, due masse d'aria separate l'una dall'altra dal piano D E, e l'aria situata in M′ sia più densa di quella situata in M, il raggio luminoso passando da M in M′ si rifrangerà per modo da avvicinarsi alla perpendicolare alla superficie D E condotta pel punto B, come si vede nella figura.

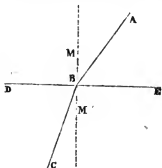



Fig. 113.

Dietro ciò ci renderemo facilmente ragione dell'andamento d'un raggio luminoso attraverso l'atmosfera terrestre. A tal fine considereremo l'atmosfera come composta di strati sferici concentrici e sovrapposti, in ciascun de' quali la densità dell'aria sia dovunque la stessa; questa densità non varierà che passando da uno in un altro strato. Una tale ipotesi non sarebbe ammissibile se si considerasse tutta intiera l'atmosfera, poichè la superficie della terra, come vedremo fra poco, non è assolutamente sferica; ma dovendo prendere in considerazione soltanto una piccola porzione d'atmosfera, stendentesi a poca distanza tutto intorno alla verticale del luogo d'osservazione, da questa ipotesi degli strati sferici concentrici, aventi il loro centro comune in uno de' punti di questa verticale, non deriva alcun sensibile errore. Sia E A (fig. 114) un raggio luminoso proveniente da un astro E, e che entra nell'atmosfera in *a*. Passando dal vuoto nel primo strato, esso prova una prima deviazione, e si dirige secondo *a b*, avvicinandosi alla perpendicolare *a* O condotta pel punto *a* alla superficie esteriore di questo strato: giunto in *b*, penetrando nel secondo strato più denso del primo, prova una seconda deviazione, e si avvicina quindi alla perpendicolare *b* O condotta in *b* alla superficie di separazione dei

due strati. Continuando così esso prova una serie di successive deviazioni, tutte nel medesimo verso, e finalmente arriva in A dopo avere attraversato l'ultimo strato secondo la direzione *d* A. L'osservatore che trovasi nel punto A, e che riceve questo raggio luminoso, prova la stessa sensazione come se la luce, non avendo subita deviazione alcuna, fosse venuta nella direzione E′ A. Ne risulta quindi che esso vede l'astro come se fosse in E′; e lo vede più vicino allo zenit che non sia realmente. È facile d'altronde il riconoscere che il raggio luminoso nelle sue successive deviazioni non esce dal piano condotto per la sua primitiva direzione E *a* e pel punto O centro degli strati atmosferici, piano che contiene per conseguenza la direzione A Z della verticale corrispondente al punto A: la direzione apparente E′ A, secondo la quale l'osservatore vede l'astro E, trovasi dunque nel piano verticale che passa per la posizione reale di quest'astro. Si può dire pertanto che le rifrazioni provate dai raggi luminosi provenienti da un astro, e che attraversano l'atmosfera, hanno per effetto di sollevare quest'astro nel piano verticale che lo contiene, senza farlo uscire da questo piano.

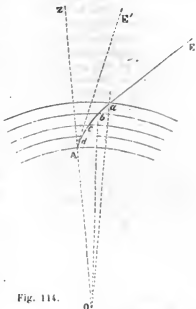



Fig. 114.

58. A fine di conoscere pienamente la deviazione che l'atmosfera fa provare ai raggi luminosi che l'attraversano non trattasi più che di determinare la quantità di cui viene diminuita la distanza zenitale d'un astro per l'effetto della rifrazione atmosferica. Questa determinazione non si può fare esattamente se non sotto la condizione che si conosca la legge secondo la quale varia la densità dell'aria per tutta l'altezza dell'atmosfera. Ma non si può sperare di giungere alla cognizione di questa legge, la cui

ricerca presenterebbe insuperabili difficoltà, sopra tutto a cagione dei continui cambiamenti di temperatura e pressione, per le quali varia da un momento all'altro. Fortunatamente si è riconosciuto che, a cagione della tenue altezza dell'atmosfera, si può sorpassare a questa cognizione, e determinare l'effetto della rifrazione, se non esattamente, almeno con sufficiente approssimazione, purchè il raggio luminoso che si considera non faccia un angolo troppo piccolo col piano orizzontale.

Per rendersi ragione di questo importante risultato basta risovvenirsi che quando un raggio di luce A B (fig. 115) attraversa una serie di mezzi omogenei M, M′, M″, M‴, separati gli uni dagli altri da superficie piane e parallele, la direzione E F, che assume questo raggio nell'ultimo mezzo M‴, è esattamente quella stessa che avrebbe assunto se fosse caduto direttamente su questo mezzo senza attraversare dapprima i mezzi M, M′, M″; per modo che, conoscendo il mezzo M‴ e la direzione del raggio incidente, si può dedurne l'angolo che il raggio rifratto E F fa con questo raggio incidente senza curarsi di conoscere i mezzi attraversati dal raggio luminoso per passare dalla direzione A B alla direzione E F. Ora se un raggio luminoso attraversa l'atmosfera non facendo un angolo piccolissimo coll'orizzonte del luogo ove viene a cadere, i punti in cui esso incontra i diversi strati atmosferici non sono tanto discosti dalla verticale di questo luogo che la curvatura di questi strati vi possa avere influenza: tutto adunque press'a poco succede come se gli strati di eguali densità, de' quali si compone l'atmosfera, fossero separati gli uni dagli altri mediante piani paralleli all'orizzonte del luogo; e la rifrazione provata dal raggio luminoso è sensibilmente quella stessa che si rimarcherebbe se questo raggio passasse direttamente dal vuoto nello strato atmosferico in cui trovasi l'osservatore, essendo questo strato limitato nella sua parte superiore da un piano orizzontale. Si potrà dunque appagarsi di questa seconda ipotesi per determinare la rifrazione che provano i raggi luminosi provenienti dagli astri, e non si avrà bisogno per ciò che di cono-

Fig. 115.

scere lo stato dell'aria nel luogo di osservazione, stato che sarà somministrato dalle indicazioni del barometro e del termometro. Dalla discussione completa della quistione fatta da Biot emerge che l'errore che si commette determinando la rifrazione dietro questa ipotesi è affatto trascurabile finchè la distanza zenitale dell'astro, donde proviene il raggio luminoso, non sorpassa 75 gradi, o, ciò che torna lo stesso, finchè la sua altezza sopra l'orizzonte è maggiore di 15 gradi. Dalla figura 116, nella quale l'altezza dell' atmosfera venne rappresentata nelle proporzioni esatte, avuto riguardo alla curvatura che le si diede, si vede che anche per l'estrema distanza zenitale di 75 gradi, gli strati atmosferici, nei punti in cui sono attraversati dal raggio luminoso A B, possono essere considerati come aventi la medesima direzione del piano orizzontale corrispondente al punto A.

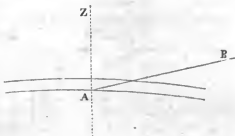



Fig. 116.

Quando la distanza zenitale d'un astro è maggiore di 75 gradi, la rifrazione dei raggi luminosi che ne provengono non è più indipendente dalla costituzione dei diversi strati atmosferici che l'attraversano; non si può dunque determinarla che partendo da qualche ipotesi sopra questa costituzione, ipotesi che si cerca vicina il più possibile alla realtà. Ma i cambiamenti che avvengono continuamente negli strati atmosferici, tanto nelle regioni elevate dell'atmosfera che in quelle vicine alla terra, fanno sì che i risultati che se ne ottengono siano ora maggiori, ora minori del vero, senza sapere come debbano essere modificati affinchè ad un istante dato raggiungano una sufficiente esattezza. Incerti così gli astronomi della grandezza della rifrazione provata da un raggio luminoso, il quale faccia coll'orizzonte un angolo minore di 15 gradi, sono costretti ad osservare gli astri solo allora che trovansi sopra l'orizzonte ad un'altezza maggiore di quest'angolo, poichè in questo caso soltanto possono essi conoscere esattamente la quantità di cui viene ad essere diminuita la distanza zenitale di ciascun astro per l'effetto della rifrazione, e dalla sua posizione apparente dedurne per conseguenza la posizione reale.

La tavola seguente delle rifrazioni venne estratta da quella che l'ufficio delle longitudini pubblica ogni anno nell'opera intitolata *Connaissance des temps*, la quale è stata calcolata conformemente a quanto abbiam detto. Da essa si conosce il valore della rifrazione corrispondente alle diverse distanze zenitali da 0° fino a 90°, supponendo che l'altezza della colonna barometrica sia di 0m,76 e la temperatura di 10° centigradi (*).

DISTANZA ZENITALE apparente.	RIFRAZIONE	DISTANZA ZENITALE apparente	RIFRAZIONE	DISTANZA ZENITALE apparente.	RIFRAZIONE
0°	0′ 0″0	71.	2.47. 8	86° 0′	11′48″8
4	0. 4, 1	72.	2.57, 7	10	12.11, 7
8	0. 8. 2	73.	3. 8. 6	20	12.35, 9
12	0 12. 4	74.	3.20. 8	30	13. 1, 6
16	0.16, 7	75.	3 34, 5	40	13.28, 9
20	0.21, 2	76.	3 50. 0	50	13.57, 9
24	0.26, 0	76 30′	3 58, 5	87. 0	14.28, 7
28	0.31, 0	77.	4. 7, 7	10	15. 1. 6
32	0.36, 4	77.30	4.17, 5	20	15.36, 7
36	0.42, 3	78.	4.28, 1	30	16.14, 1
39	0.47, 2	78.30	4.39, 5	40	16 54, 2
42	0.52, 5	79.	4.51, 9	50	17.37, 1
45	0.58, 3	79.30	5. 5, 4	88. 0	13.23. 1
48	1. 4. 7	80. 0	5.20, 0	10	19.12. 5
50	1. 9, 4	80.30	5.36, 1	20	20. 5, 6
52	1.14, 5	81. 0	5.53, 7	30	21. 2, 7
54	1.20. 1	81.30	6.13. 1	40	22. 4, 3
56	1.26, 3	82. 0	6.34, 7	50	23.10, 7
58	1.33, 1	82.30	6 58, 7	89. 0	24.22. 3
60	1.40, 7	83. 0	7.25. 6	10	25.39, 6
62	1.49, 3	83.30	7.55, 9	20	27. 3. 1
64	1.59, 0	84. 0	8.30, 3	30	28 33, 2
66	2.10, 3	84.30	9. 9, 6	40	30 10, 4
68	2.23, 4	85. 0	9.54, 8	50	31.55, 2
70	2.38, 9	85.30	10 47, 3	90. 0	33.47, 9

(*) A rendere più proficuo l'uso della tavola di rifrazione l'abbiamo esposta assai più copiosamente che il sig. Delaunay non abbia fatto, emergendone così assai meglio anche il rapido incremento della rifrazione in vicinanza dell'orizzonte.

Anche gli oggetti terrestri sono soggetti a spostamenti dipendenti dalla rifrazione, i quali se non sono tanto intensi quanto quelli risguardanti gli astri, sono per altro soggetti a maggiori accidentali variazioni. La rifrazione, così detta *terrestre*, aumenta colla distanza dell'oggetto che si osserva; e anche la depressione dell'orizzonte viene per essa in modo considerevole accresciuta, e tanto più quanto maggiore è l'elevazione dell'occhio.

Dall'ispezione di questa tavola è facile il comprendere che trovato essere la distanza zenitale di un astro di 66°, per esempio, si dovrà aumentarla di 2' 10",3 onde avere la distanza zenitale vera dell'astro, vale a dire quella che si sarebbe ottenuta se l'atmosfera non avesse deviato i raggi luminosi; per cui si avrà per questa distanza zenitale vera 66° 2' 10", 3.

In seguito alla tavola delle rifrazioni, la *Connaissance des temps* porge i mezzi per modificarne i risultati, a seconda delle differenze che possono esistere tra la pressione atmosferica e la temperatura osservate all'istante della misura d'una distanza zenitale, e quelle ammesse nel calcolo della tavola.

MOTO DIURNO DEL CIELO

59. Osservando il cielo, in una bella notte senza nubi, vedesi un numero cosiderevole di punti luminosi, più o meno brillanti, indicati generalmente sotto il nome di stelle. A tutta prima questi punti brillanti sembrano immobili; ma basta osservarli attentamente per qualche tempo per accorgersi che sono al contrario animati di moto sensibilissimo. Supponiamo, per esempio, d'esserci collocati in guisa da vedere una stella particolare nella direzione dell'estremità superiore d'un albero o d'un campanile; aspettando, senza cambiar posto, che sia trascorsa una mezz'ora od un'ora, si trova che in capo a questo tempo la stella non è più nella direzione in cui dapprima la si aveva veduta; essa se ne è allontanata di una quantità considerevole, la quale è tanto maggiore quanto maggiore fu il tempo in cui ha durato l'osservazione.

Questa semplicissima osservazione può essere fatta sulle diverse stelle che si veggono, e per tal modo si riconosce che esse sono tutte animate da un moto più o meno rapido. Ve ne hanno alcune per altro il cui spostamento è talmente debole che non si potrebbe ravvisarlo col mezzo grossolano indicato, ed è duopo ricorrere a mezzi più precisi, de' quali bentosto parleremo, onde riconoscerne incontestabilmente l'esistenza anche in esse.

Osservando le stelle per più ore di seguito, le si veggono spostarsi con moto progressivo, ed occupare così successivamente differentissime posizioni rapporto all'orizzonte. Supponiamo, per esempio, di volgerci dalla parte di mezzogiorno, vale a dire da quella parte ove si vede il sole a mezzo della giornata. Le stelle che veggonsi in questa direzione si muovono verso la destra,

avvicinandosi sempre più all'orizzonte, che ben presto raggiungono, e poi scompariscono. Nello stesso tempo veggonsi a sinistra altre stelle, che sembrano sorgere dall'orizzonte, poi sempre più s'innalzano avvicinandosi alla direzione del mezzodì, per comportarsi in appresso, oltrepassata questa direzione, alla stessa maniera delle precedenti. In una parola, seguendo attentamente i moti delle diverse stelle che veggonsi in questa regione del cielo si riconosce che esse muovonsi press'a poco come il sole: esse *nascono* come il sole dalla parte d'oriente, e *tramontano* come il sole dalla parte d'occidente.

Se, in luogo di volgersi dalla parte di mezzogiorno, si guarda verso nord, vale a dire dalla parte a quella opposta, le stelle si scorgeranno parimente in moto; ma le circostanze del loro moto saranno molto diverse. La maggior parte di esse non discendono giammai al di sotto dell'orizzonte; vi si avvicinano più o meno senza raggiungerlo, poi se ne allontanano fino ad una certa distanza, per avvicinarvisi di nuovo, e così di seguito. Nello stesso tempo esse si muovono rispetto all'orizzonte, ora da destra a sinistra quando ne sono più lontane, ora da sinistra a destra quando invece ne sono più vicine.

60. Mentre le stelle sono soggette a tali spostamenti, si veggono per altro mantenere tra loro le medesime posizioni relative; le figure che si possono imaginare unendole a due a due con linee rette conservano sempre le stesse forme. Sembrerebbe che le stelle siano attaccate alla vôltą del cielo, e che un movimento di questa vôlta le trascini tutte insieme, senza che le mutue loro distanze subiscano variazione alcuna. Non v'ha che un piccolissimo numero di astri che facciano eccezione a questa regola; e che, mentre si spostano press'a poco come le stelle che loro sono vicine, camminano ora più veloci ora più lentamente di esse; in guisa che si avvicinano ad alcune stelle, le sorpassano per avvicinarsi ad altre situate alquanto più lungi, e si comportano così come se camminassero sulla vôlta celeste attraverso alle stelle che poco fa abbiamo imaginate esservi attaccate.

Nasce da ciò una divisione degli astri in due grandi classi: la prima comprende tutta quella moltitudine di punti brillanti che conservano le medesime posizioni le une rispetto alle altre, ed alle quali si dà il nome di *stelle fisse*, o semplicemente di *stelle;* la seconda racchiude gli astri che occupano successivamente diverse posizioni framezzo alle stelle fisse, ed alle quali gli antichi attribuirono il nome di *pianeti*, vale a dire astri erranti. Il sole e la luna debbono essere collocati fra gli astri er-

ranti: quindi gli antichi li annoveravano fra i pianeti. Ma attualmente al vocabolo *pianeta* venne attribuito un significato più ristretto, e non s'indica con esso che una parte degli astri della seconda classe, la quale comprende in oltre il sole, i *satelliti* dei pianeti e le *comete*.

Tra gli astri della seconda classe solo alcuni pianeti propriamente detti si possono a prima giunta confondere colle stelle. Mediante l'attenta osservazione d'un astro, per un tempo sufficientemente lungo, si può però sempre riconoscere se desso sia una stella od un pianeta, bastando per ciò vedere se quest'astro conserva o no la stessa posizione rispetto alle stelle che lo circondano. Ma ben si comprende l'importanza d'avere altri mezzi più pronti co'quali poter quasi immediatamente giudicare se l'astro che si considera appartenga alla prima od alla seconda classe. Si ebbe perciò ricorso ai caratteri fisici dell'astro, caratteri pe' quali di solito si può raggiungere facilmente siffatta distinzione, siccome stiamo per vedere.

61. **Irradiazione.** — Un pianeta che, visto ad occhio nudo, presenta press'a poco lo stesso splendore d'una stella, si mostra sotto tutt'altro aspetto in confronto di essa quando si osservano l'uno e l'altra col mezzo di un cannocchiale. D'ordinario il pianeta apparisce sotto la forma d'un piccolo disco arrotondato, talvolta sotto la forma di porzione soltanto di un simile disco; ed aumentando l'ingrandimento del cannocchiale coll'adattargli un altro oculare (25), aumentano conseguentemente le dimensioni del disco. Fatte le stesse osservazioni sopra una stella, si ottiene un risultato affatto diverso, poichè le stelle non appariscono giammai dotate di sensibili dimensioni: in oltre la larghezza che sembra avere una stella veduta ad occhio nudo svanisce mano mano che la si osserva con un cannocchiale di maggiore ingrandimento; e coi più forti cannocchiali non la si vede altrimenti che come un punto brillante.

Questa diversa maniera d'agire dei cannocchiali sopra una stella e sopra un pianeta deriva dall'essere la lontananza del pianeta molto minore di quella della stella. I cannocchiali ci fanno vedere i pianeti con dimensioni sempre maggiori a misura che più forte è l'ingrandimento, e ciò è naturalissimo; mentre una stella è cotanto da noi lontana che, qualunque sia l'ingrandimento del cannocchiale, non se ne possono rendere sensibili le dimensioni. Un ingrandimento di mille volte produce, relativamente alla grandezza apparente della stella, lo stesso effetto come se la osservassimo ad occhio nudo ponendoci ad una distanza mille

volte minore di quella che esiste tra essa e noi: ora questa distanza mille volte minore sarebbe ancora tanto grande, relativamente alle dimensioni reali della stella, ch'essa ci apparirebbe sempre come un punto. Che se i pianeti non ci appariscono ad occhio nudo più grandi delle stelle, e sembrano al contrario averne le medesime dimensioni, mentre, veduti attraverso lo stesso cannocchiale, assumono dimensioni apparenti cotanto diverse, ciò deriva da un fenomeno ottico chiamato *irradiazione*.

Due oggetti aventi esattamente eguali dimensioni, collocati ad egual distanza dall' occhio, non appariscono eguali quando le loro superficie non abbiano eguale splendore; ed apparisce più grande quello che trasmette al nostro occhio la maggiore quantità di luce, come si può verificare mediante la figura 117, nella

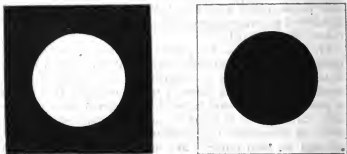



Fig. 117.

quale veggonsi due cerchi, l'uno bianco e l'altro nero, aventi esattamente l'egual raggio: esaminando attentamente e nello stesso tempo questi due cerchi, il bianco apparisce notabilmente più grande del nero. Ed è questa illusione per l'appunto che costituisce l'irradiazione.

Da ciò si comprende come avvenga che una stella apparisca più grande di un pianeta, mentre, per la sua enorme lontananza, dovrebbe presentare dimensioni molto minori; giacchè la grande quantità di luce che la stella ci trasmette produce una considerevole irradiazione, per la quale noi la vediamo sotto dimensioni molto maggiori delle reali. Al contrario il pianeta, il cui intrinseco splendore è incomparabilmente più debole, non ci apparisce notabilmente ingrandito per effetto dell' irradiazione. I cannocchiali godono della proprietà di diminuire l'effetto della irradiazione, e ciò tanto più quanto maggiore è il loro

ingrandimento; laonde mentre essi ci fanno vedere sempre più ingrandito un pianeta, ci mostrano per contrario la stella sotto dimensioni sempre minori; ed a misura che aumenta l'ingrandimento del cannocchiale, le dimensioni apparenti della stella e del pianeta si avvicinano sempre più a quelle che si osserverebbero nella totale mancanza d'irradiazione (*).

62. Scintillazione. — Un altro carattere pel quale sovente si può distinguere alla semplice vista un pianeta da una stella sta nel fenomeno della *scintillazione*. Comunemente la luce d'una stella non apparisce tranquilla; ma ora sembra estinguersi, poi tutt'ad un tratto ravvivarsi, gettare lampi di luce diversamente colorati, ora verdi, ora rossi; ed è questa continua agitazione della luce d'una stella che s'indica col nome di scintillazione. Esaminando i diversi pianeti che si possono vedere ad occhio nudo, si riconosce che essi generalmente scintillano molto meno delle stelle, anzi alcuni presentano appena tracce sensibili di

(*) Inerenti al fenomeno dell'irradiazione sono eziandio que' *raggi* che sembrano emanare dai pianeti e dalle stelle quando si osservano ad occhio nudo, e che dai tempi più remoti servirono a simbolizzare gli astri. Questi raggi, la cui lunghezza si può valutare a 5 o 6 minuti, non sarebbero altro, secondo Hassenfratz, che le caustiche del cristallino dell'occhio, formate dai raggi rifratti.

Molte cagioni vengono per altro annoverate da Arago, le quali, alterando la nettezza e la fedeltà delle imagini delle stelle, tendono tutte ad aumentarne gli apparenti diametri: tali sono le sensibili aberrazioni di sfericità e di rifrangibilità dell'occhio, esistenti eziandio in un certo grado nei migliori telescopii e nei più perfetti cannocchiali; l'abbastanza considerevole potere disperdente dell'atmosfera e la diffrazione prodotta sui raggi luminosi dai lembi delle aperture circolari dei tubi degli strumenti e del loro diaframmi.

La luce stellare pertanto che entra per la pupilla dell'occhio viene, per l'irradiazione, ad occupare sulla retina una certa estensione, e l'imagine che se ne produce rimane ingrandita e indebolita. Che se, mediante un cannocchiale o un telescopio, viene a diminuirsi siffatta irradiazione, si diminuisce per conseguenza il diametro apparente della stella, mentre in quella vece si rende per così dire concentrata la luce, epperò aumentata anche l'intensità luminosa.

Pei pianeti l'ingrandimento prodotto dai cannocchiali e dai telescopii deve essere manifestamente accompagnato da un indebolimento nell'intensità luminosa; e come questo indebolimento risulta alquanto maggiore dell'incremento di luce prodotto per ciascun punto del disco del pianeta medesimo a cagione della diminuita irradiazione, così all'occhio armato un pianeta, oltre all'apparire ingrandito, deve in oltre effettivamente apparire dotato di minor luce.

scintillazione; per cui la luce dei pianeti apparisce molto più tranquilla di quella delle stelle. L'ingegnosa spiegazione data da Arago del fenomeno della scintillazione ci mette in grado di comprendere da che derivi una tale differenza tra le stelle e i pianeti.

È noto come i fenomeni luminosi vengano spiegati mediante le ondulazioni d'un fluido sottilissimo e sparso dovunque, cui si dà il nome di *etere*. Una sorgente di luce, qualunque essa sia, determina un moto oscillatorio delle molecole dell'etere; questo moto si propaga tutto intorno alla sorgente, formando una specie di onde sferiche concentriche, precisamente come una pietra la quale, lanciata sulla superficie di un'acqua tranquilla, vi produca quelle onde circolari che si vedono succedersi ed allargarsi successivamente finchè abbiano raggiunto i limiti della massa d'acqua. Sia A (fig. 118) una sorgente di luce omogenea, per esempio di luce rossa, ed A B una qualunque direzione, secondo la quale noi dobbiamo esaminare le circostanze della propagazione del moto vibratorio generato da questa sorgente di luce. Una molecola *m* di etere, presa sulla retta A B, compie le sue oscillazioni secondo una retta $m' m''$ perpendicolare ad A B. Quando questa molecola ha cominciato ad oscillare, essa agisce sulla molecola seguente, che oscilla alla sua volta; questa agisce sopra una terza molecola, e così di seguito, in guisa che il moto oscillatorio si propaga da molecola a molecola sulla linea A B fino a distanza indefinita dal punto A; ed è questo moto delle diverse molecole d'etere disposte lungo una retta quale A B che costituisce un raggio luminoso.

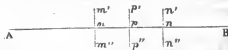



Fig. 118.

La propagazione del moto vibratorio lungo un simile raggio si compie con grandissima rapidità: la velocità di questa propagazione è infatti di circa 77000 leghe da 4 chilometri ciascuna per secondo. Sia *m n* l'estensione nella quale il moto si propaga sulla retta A B; mentre la molecola *m* compie un'intiera oscillazione da una parte e dall'altra della sua posizione d'equilibrio: la molecola *n* comincerà la sua prima oscillazione nell'istante medesimo in cui la molecola *m* terminerà la sua e ne ricomincerà una seconda. Queste due molecole oscilleranno dunque nello stesso tempo e nella stessa maniera: quando la prima sarà in m', la seconda sarà in n'; esse ritorneranno nello stesso tempo alle loro primitive posizioni *m*, *n*; e quando la prima sarà in m'',

la seconda troverassi in n'': insomma queste due molecole si troveranno ad ogni istante in posizioni corrispondenti sopra i cammini ch'esse respettivamente percorrono, e vi saranno animate da velocità eguali e parallele. Considerando un'altra molecola d'etere situata in p, alla metà della distanza $m\ n$, il moto si propagherà dalla molecola m alla molecola p, mentre la prima compie la metà di un'intiera sua oscillazione. La molecola m sarà giunta in m', e sarà poi ritornata in m all'istante in cui la molecola p si porrà in movimento: la prima sarà in m'' quando la seconda sarà in p'; esse ritorneranno nello stesso tempo in m ed in p; la prima ritroverassi di nuovo in m' quando la seconda sarà in p'', e così di seguito. Queste due molecole m, p saranno dunque ad ogni istante animate da velocità eguali e contrarie. La distanza $m\ n$ di due molecole successive, i cui movimenti concordano intieramente, dicesi *lunghezza di un'ondulazione*.

Il colore della luce è determinato dalla durata di un'intiera oscillazione della molecola d'etere; e questa durata varia secondo che questa luce è rossa, verde, azzurra, ecc.: la velocità della propagazione, al contrario, è la stessa per le diverse luci; laonde la lunghezza di un'ondulazione varia dall'uno all'altro colore, poichè è il cammino percorso dalla luce, in virtù di questa velocità costante di propagazione, nel tempo della durata di un'intiera oscillazione d'una molecola d'etere, la qual durata non è la stessa pei diversi colori. È noto che la luce bianca è formata dalla riunione di un numero indefinito di colori, tra i quali distinguonsi sette colori principali, cioè: violetto, indaco, azzurro, verde, giallo, aranciato e rosso; e si è trovato che pel violetto la lunghezza di un'ondulazione è di $0^{mm},000\,425$, pel verde di $0^{mm},000\,512$, e pel rosso di $0^{mm},000\,620$. Da ciò si può giudicare della straordinaria rapidità colla quale si compiono le oscillazioni delle molecole dell'etere, poichè la luce, che percorre 77 000 leghe in un secondo di tempo, non percorre che circa la metà di un millesimo di millimetro nel tempo della durata di una di queste oscillazioni.

Richiamate così queste nozioni, imaginiamo che due raggi di luce omogenea, partiti dallo stesso punto luminoso, camminino a fianco l'uno dell'altro. Ricevendo questi due raggi sopra una lente convergente, essi l'attraverseranno e andranno poscia a concorrere in uno stesso punto: la molecola di etere situata in questo punto di concorso sarà in conseguenza animata da due movimenti oscillatorii, i quali si combineranno tra loro in

guisa da produrre il suo moto definitivo. Se i due raggi, a partire dalla comune sorgente fino al loro arrivo a questo punto di concorso, si trovarono nelle stesse identiche condizioni, i due movimenti che, in virtù di questi due raggi, prenderà la molecola d'etere di cui si tratta saranno esattamente gli stessi; le velocità in questi due movimenti dovranno essere in ogni istante eguali e nel medesimo verso; ed è chiaro che per questa molecola d'etere risulterà un unico movimento della stessa natura di ciascheduno di quei movimenti parziali, ma di doppia intensità. Se al contrario, per qualsivoglia cagione, uno dei due raggi ebbe a provare un ritardo, accadrà tutto diversamente. Supponiamo, per esempio, che questo ritardo sia precisamente della semi-lunghezza di un'ondulazione; la molecola d'etere situata al punto di concorso dei due raggi non assumerà più due movimenti concordi in virtù del passaggio di questi raggi pel punto in cui essa si trova; e sarà per contrario in ogni istante animata da due velocità parziali eguali ed opposte l'una all'altra, e pertanto essa rimarrà immobile. Per tale circostanza avverrà dunque una distruzione di luce al punto di concorso dei due raggi; vi si produrrà cioè un'*interferenza*. È facile il riconoscere che si produrrà pure un'interferenza ogni volta che uno dei due raggi luminosi avrà provato, in confronto dell'altro, un ritardo di una, tre, cinque ed in generale di un numero dispari di semi-lunghezze di un'ondulazione; mentre tutte le volte che il ritardo di uno dei due raggi in confronto dell'altro sarà di una, due, tre.... intiere lunghezze di un'ondulazione, tutto accadrà precisamente come se non vi fosse stato ritardo alcuno.

Consideriamo ora una stella, che noi possiamo riguardare semplicemente come un punto luminoso, dietro quanto abbiam detto precedentemente (61). Due raggi luminosi omogenei, partiti nello stesso tempo da questa stella, giungono all'occhio dell'osservatore dopo di avere attraversata l'atmosfera. I continui cambiamenti che avvengono nella temperatura, nella pressione, nel grado d'umidità dell'aria atmosferica, fanno sì che questi due raggi, per quanto fra loro vicini, non attraversino masse d'aria assolutamente identiche fra loro. Ma è noto che i raggi luminosi, passando attraverso un mezzo qualunque, soffrono sempre dei ritardi, e ciò tanto più quanto più il mezzo è rifrangente: deriva quindi che i due raggi subiscano ritardi nel loro passaggio attraverso all'atmosfera, e che il ritardo dell'uno in generale differisca da quello dell'altro. Se i ritardi di questi due

raggi differiscono l'uno dall'altro di un numero dispari di semi-lunghezze di un'ondulazione, questi due raggi, fatti convergenti dopo il loro ingresso nell'occhio, vi producono un'interferenza.

Consideriamo ora l'intero fascio di raggi omogenei, per esempio di raggi rossi, che dalla stella ci arrivano nell'interno dell'occhio. I diversi raggi che lo compongono soffrono ritardi disuguali per l'azione degli strati atmosferici che attraversano, ed è facile intendere come una porzione di questi raggi possa distruggere gli altri per interferenza, dopo essere penetrati nell'occhio; ma tale distruzione non potrà essere che parziale, e d'altronde sarà maggiore o minore dall'uno all'altro istante, a seconda delle variazioni che costantemente avvengono nelle masse d'aria incontrate da questi raggi nel loro cammino. La sensazione prodotta da questo fascio di raggi rossi emanati dalla stella sarà dunque variabilissima, ora debole, ora forte; e queste variazioni si succederanno spesso con grande rapidità. Se la stella non emettesse che raggi rossi, essa avrebbe sembianza d'estinguersi, poi di ravvivarsi, e presenterebbe uno splendore variabile ad ogni istante.

Ma una stella non emette soltanto raggi rossi; generalmente la sua luce è bianca, vale a dire composta delle diverse luci semplici di cui abbiamo precedentemente parlato. Ma ciò che abbiam detto pei raggi rossi possiamo evidentemente ripeterlo pei raggi azzurri, pei raggi verdi, ecc.; e quindi, per le interferenze di queste diverse specie di raggi, la stella presenterà ad ogni istante uno splendore variabilissimo. Osservisi in oltre che, non essendo le lunghezze di un'ondulazione eguali pei diversi colori, è d'uopo che, a produrre un'interferenza, un raggio non abbia a soffrire eguali ritardi in confronto di un altro, secondo che questi due raggi sono rossi, verdi o violetti; per cui l'interferenza di due raggi rossi non si produrrà in generale contemporaneamente a quella di due raggi verdi, azzurri o violetti, i quali abbiano esattamente percorso lo stesso cammino dei primi. Così nell'insieme dei raggi luminosi che da una stella arrivano nell'interno del nostro occhio in un determinato istante, avvengono interferenze tra i raggi dei diversi colori; ma queste interferenze possono essere maggiori in numero per alcuni colori che per altri: i raggi rossi, per esempio, possono distruggersi quasi completamente, mentre non si distrugge che una piccola quantità di raggi verdi. Avviene pertanto che i diversi colori componenti la luce bianca proveniente da

una stella subiscano disuguali diminuzioni d'intensità, e quindi le loro proporzioni cessino dall'essere atte a formare colla loro riunione la luce bianca: la stella pertanto dovrà apparire colorata, e d'altra parte questa colorazione dovrà cambiare ad ogni istante a norma del colore che sarà predominante, a cagione delle continue variazioni del mezzo che dovettero attraversare i raggi partiti dalla stella per giungere nell'interno dell'occhio. Con ciò rimane completamente spiegata la scintillazione delle stelle: vediamo ora quanto deve accadere per un pianeta.

Una stella può essere paragonata ad un punto luminoso, giacchè sempre coi più forti cannocchiali ci apparisce priva di sensibili dimensioni; ma non è lo stesso di un pianeta che, osservato col cannocchiale, ci manifesta sensibilissime dimensioni. I raggi luminosi provenienti da un pianeta si possono quindi considerare come trasmessici da un'agglomerazione di punti luminosi fra loro vicinissimi, non tanto però da confondersi in un solo. Ciascuno di questi punti luminosi, preso isolatamente, deve comportarsi siccome una stella; i raggi da esso trasmessi all'occhio debbono provare interferenze variabili ad ogni istante, e se fosse uno solo, si vedrebbe scintillare. Diversi punti luminosi, che supponiamo disposti vicinissimi fra loro, scintillano tutt' insieme; ma queste scintillazioni sono generalmente fra loro discordanti; cosicchè, mentre uno di essi manda un vivo splendore, un altro sembra estinguersi; e quando il primo si colora in rosso, il secondo assume la tinta verde od azzurra. Solo quando accidentalmente concordino le scintillazioni di questi diversi punti anche la loro agglomerazione si mostrerà scintillante; ma più comunemente, contrariandosi più o meno le parziali scintillazioni, l'insieme dei punti dovrà presentare una scintillazione debolissima, se non affatto nulla. Da ciò si comprende come avvenga che il fenomeno della scintillazione sia molto meno intenso pei pianeti che per le stelle, in guisa che per esso si possono, anche alla semplice vista, distinguere soventi volte gli uni dalle altre.

Si è notato che la scintillazione degli astri si produce specialmente quando, dopo una secchezza perdurata qualche tempo, viene nell'aria a diffondersi dell'umidità: per questo un tale fenomeno è considerato dai marinai siccome presagio di cattivo tempo. Questo fatto riesce di conferma alla spiegazione cotanto ingegnosa e soddisfacente data da Arago della scintillazione, e che noi abbiamo rapidamente analizzata. In queste circostanze infatti l'aria si trova nelle condizioni le più opportune per agire

inegualmente sopra i raggi che pervengono da un astro nell'interno dell'occhio, e per determinare le interferenze che generano il fenomeno della scintillazione (*).

63. **Sfera celeste.** — Le stelle sono corpi disseminati nello spazio e isolati gli uni dagli altri, siccome più tardi vedremo, e le loro distanze dalla terra devono essere diversissime. Così due stelle che ci appariscono vicine possono nondimeno essere lontanissime l'una dall'altra: noi le crediamo vicine perchè le vediamo press'a poco nella stessa direzione e v'ha nulla che ci indichi quale delle due ci è più lontana dell'altra. Per semplificare le cose, d'ordinario si riducono col pensiero tutte le stelle a una stessa distanza dal luogo d'osservazione, conservando per ciascuna di esse la direzione secondo la quale la si vede; così (fig. 119) le diverse stelle E, E′, E″,... si supporranno collocate in *e*, *e*′, *e*″,... sulle rette E O, E′ O, E″ O,... che congiungono le loro posizioni reali col luogo O dell'osservazione, e a distanze *e* O, *e*′ O, *e*″ O,... da questo luogo fra di loro eguali: perciò questi astri si troveranno disposti tutti sulla superficie d'una medesima sfera avente per centro il punto O. Il raggio di questa sfera, che dicesi la *sfera celeste*, può essere di qualsivoglia grandezza, e generalmente si suppone grandissimo.

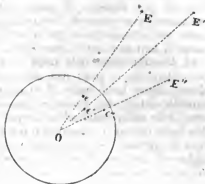



Fig. 119.

(*) Nelle regioni tropicali è notevole la quasi totale assenza di scintillazione nelle stelle che trovansi almeno a 12° o 15° di altezza sull'orizzonte. Questo fenomeno, che tanto contribuisce alla calma e dolcezza delle notti di quelle regioni, deriva da una mescolanza più omogenea del vapore acqueo coll'atmosfera, non già dalla quantità assoluta dell'umidità che vi si trova sparsa. Al contrario nelle notti pure e fredde dei climi temperati la scintillazione serve ad aumentare la magnificenza del cielo, rinforzando ad intervalli la luce delle numerose stelle di sesta e di settima grandezza, non facilmente distinguibili che mediante i cannocchiali; per cui le veggiamo ad intervalli apparire qua e là, e siamo quindi tratti istintivamente ad esagerare il numero delle stelle visibili ad occhio nudo.

Dietro le apparenze che presenta il moto delle stelle, e secondo la fatta convenzione di considerarle tutto alla medesima distanza da noi, potremo supporre la sfera celeste come una sfera solida, cava, per esempio una sfera di cristallo, sulla quale trovinsi infisse tutte le stelle; e che questa sfera sia animata da un movimento che, trasmettendosi a ciascuna di esse, faccia loro percorrere le linee che vediamo descrivere realmente. Quest' idea d'una sfera solida, di cristallo, alla quale sono attaccate le stelle, data dalla più remota antichità: gli astronomi greci la ritenevano pure come l'espressione della realtà; ma per noi non sarà che una finzione, la quale avrà il doppio vantaggio di richiamarci costantemente l'immobilità delle stelle, le une rispetto alle altre, in guisa che si possa rappresentare semplicemente il loro movimento complessivo.

64. **Classificazione delle stelle.** — Basta uno sguardo al cielo per vedere che le stelle non sono tutte egualmente brillanti. Mentre alcune sono dotate di vivissimo splendore, altre sono talmente deboli che appena si possono scorgere: la maggior parte delle stelle visibili ad occhio nudo sono comprese tra questi due limiti estremi e presentano, per così dire, tutte le gradazioni di splendori che si possono imaginare onde passare insensibilmente dall' uno all' altro di questi duo limiti. Vi ha in oltre un numero considerevole di stelle che non si possono vedere che coll'ajuto de' cannocchiali e de' telescopii, e che hanno egualmente diversissimi splendori, da quelle che possono distinguere ad occhio nudo gli osservatori dotati di vista eccellente fino a quelle che veggonsi appena coi più potenti strumenti.

Per facilitare l'indicazione dello splendore d'una stella vennero tutti questi astri classificati in ordine di grandezza. Così si dice che una stella è di 1.ª, 2.ª, 3.ª.... grandezza, secondo che dessa è più o meno brillante; ben inteso che il vocabolo *grandezza* qui usato non si riferisce in nessuna guisa alle dimensioni reali della stella, ma corrisponde all'apparenza derivante per noi da queste dimensioni reali combinate tanto colla distanza alla quale la stella si trova, quanto coll'intrinseco suo splendore. Così una stella di 1.ª grandezza può essere molto più piccola di una stella di 6.ª grandezza; basta che dessa sia molto più vicina a noi perchè il suo splendore ci apparisca maggiore.

Si comprende facilmente quanto v' ha di arbitrario in una simile classificazione delle stelle per ordine di grandezza; così non v' ha di che maravigliare se gli astronomi non sono pienamente d' accordo sul numero delle stelle da collocarsi in

ciascun ordine. Imaginiamo che siasi formato il catalogo di tutte le stelle visibili dai diversi punti della terra, sia ad occhio nudo, sia mediante i cannocchiali ed i telescopii, disposte a seconda del loro splendore, cominciando dalla più brillante fino alla più debole; basterà fare delle divisioni in questo catalogo generale per formarne la prima, la seconda, la terza... grandezza; e non essendovi alcuna norma dietro cui tracciare queste divisioni, una stella che si considera come l'ultima d'una classe potrebb'essere presa benissimo come la prima della classe seguente. Daremo adesso alcune indicazioni per far conoscere la classificazione qual'è generalmente adottata.

Contansi ordinariamente dalle 15 alle 20 stelle di 1.ª grandezza, dalle 50 alle 60 di 2.ª grandezza, circa 200 di 3.ª grandezza, e così di seguito: la 6.ª grandezza comprende le stelle più deboli visibili ad occhio nudo. Si calcola essere circa 5000 il numero totale delle stelle delle sei prime grandezze, vale a dire di quelle che possono essere vedute senza il soccorso di cannocchiali e telescopii. Le stelle più deboli, che si designano soventi volte sotto il nome di stelle telescopiche, compongono ancora 10 grandezze, dalla settima fino alla sedicesima, nella quale sono raccolte le più piccole stelle che siansi potute fino al presente osservare coll'ajuto dei cannocchiali e dei telescopii. Il numero delle stelle contenuto in ciascun ordine di grandezza aumenta rapidissimamente a misura che il suo numero è più elevato; e per farsene un'idea basti il dire che pongonsi circa 13000 stelle nella 7.ª grandezza, 40000 nell'8.ª e 140000 nella 9.ª

65. **Costellazioni.** — Non si può indicare ciascuna stella se non attribuendole un nome che la richiami senza confonderla con alcun'altra; e questo nome può essere scelto arbitrariamente, come si è fatto per un certo numero di stelle più brillanti: Sirio, la Capra, Rigel, Aldebaran, Vega, ecc., sono altrettanti nomi che indicano delle stelle le cui posizioni nel cielo sono conosciutissime dagli astronomi. Ma gli è chiaro essere impossibile dare così un nome differente a ciascuna delle stelle contenute nei 16 ordini di grandezza di cui abbiam parlato; e quand'anche si fossero trovati dei nomi per tutta questa moltitudine di stelle, non potrebbe la memoria degli astronomi ritenerli. Si ebbe quindi ricorso ad un altro mezzo, che da'tempi più antichi passò fino a'nostri; ed ecco in che consiste.

Si è imaginata l'intiera superficie della sfera celeste come coperta di figure d'uomini, d'animali e di oggetti diversi. Queste figure, contigue fra loro, divisero la sfera in tanti scompar-

timenti di diverse grandezze e di forme più o meno irregolari. L'insieme delle stelle contenute in ognuno di questi scompartimenti ha formato un gruppo particolare, o, secondo l'espressione consacrata, una *costellazione;* ed a questa costellazione si è dato il nome della figura che ne avea determinati i contorni. Si hanno così le costellazioni d'Orione, del Cocchiere, del Leone, dell'Orsa Maggiore, dello Scorpione, della Lira, ecc., ecc.

L'indicazione della costellazione cui appartiene una stella fa immediatamente conoscere la regione del cielo ov'essa si trova; e per individuarla completamente basta poterla distinguere dalle altre stelle che entrano nella medesima costellazione. Alcune stelle disposte in particolar modo rispetto alle figure che valsero a denominare le costellazioni ricevettero nomi che si riferiscono appunto alle loro peculiari posizioni; così vi hanno l'Occhio del Toro, la Spica della Vergine, il Cuore dello Scorpione, ecc.; ma questo modo di designare una stella non è che eccezionale. Avendo Bayer nel 1603 pubblicate delle carte celesti, sulle quali, accanto alle diverse stelle d'una medesima costellazione, trovavansi le lettere greche α, β, γ,... gli astronomi seguirono il suo esempio, e continuarono a designare le stelle sia mediante lettere, sia mediante numeri. Bayer aveva attribuito la lettera α alla stella più brillante di ciascheduna costellazione, la lettera β a quella che gli succedeva in splendore, e così di seguito. A misura che il numero delle stelle registrate nelle diverse costellazioni divenne maggiore, continuarono gli astronomi collo stesso andamento, ed esaurito l'alfabeto greco, assunsero le lettere ordinarie *a*, *b*, *c*,... assegnandole nella stessa maniera alle diverse stelle dietro l'ordine del loro splendore (*); infine, terminato anche questo secondo alfabeto, limitaronsi a scrivere nei cataloghi le stelle con un numero progressivo. I numeri che si usano comunemente per designare le stelle cui non venne attribuita nessuna lettera dell'uno o dell'altro alfabeto, sono quelli dell'antico catalogo di Flamsteed (**), conosciuto sotto il nome di catalogo britannico.

(*) Non sempre l'ordine progressivo delle lettere dell'alfabeto greco o latino corrisponde all'ordine colle quali le stelle si succedono nello splendore; ma più comunemente nel disporre queste lettere si ebbe riguardo alla reciproca disposizione delle stelle costituenti una costellazione, come risulta eziandio dall'esame delle principali costellazioni qui in appresso enumerate.

(**) Astronomo inglese, nato nel 1646, morto nel 1719: fu il primo direttore dell'Osservatorio di Greenwich, vicino a Londra, nel 1676.

L'Autore.

Quando il numero dato ad una stella non è tolto da questo catalogo, si ha cura d'indicare da qual catalogo venne ricavato.

66. Volendo studiare astronomia conviene esercitarsi a riconoscere le costellazioni, così come le loro posizioni relative nel cielo. Indicheremo ora l'andamento che si può tenere per ciò, servendosi di carte celesti sulle quali sieno rappresentate le stelle più brillanti, e ne trarremo profitto per far conoscere le principali costellazioni situate nella parte del cielo visibile in Europa.

La costellazione dell'*Orsa Maggiore* verrà colla massima facilità riconosciuta, attesa la disposizione delle sette stelle brillanti che la compongono (fig. 120). Queste sette stelle sono tutte di

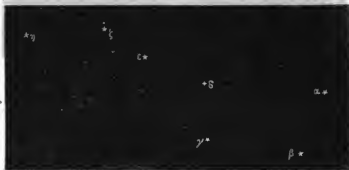



Fig. 120.

seconda grandezza, tranne la δ che è di terza. Le tre stelle ε, ζ, η formano la coda dell'Orsa Maggiore. Questa notevole costellazione rimane sempre sopra l'orizzonte di Parigi, e la si vede verso nord, ove occupa differenti posizioni, vicine o lontane dall'orizzonte, secondo l'ora nella quale la si osserva (*). Le si dà talvolta anche il nome di *Carro;* α, β, γ, δ sono le ruote; ε, ζ, η, ed i cavalli; una piccolissima stella, situata vicinissimo a ζ, rappresenta il postiglione.

Conosciuta l'Orsa Maggiore, si può procedere da essa per ritrovare altre costellazioni. Imaginando una linea retta che passi per le stelle β, α, e prolungandola al di là di α d'una quantità eguale a cinque volte la distanza di β da α, o meglio ancora d'una quantità eguale alla distanza di α da η, trovasi la *Polare* (fig. 121), il cui nome riceverà bentosto spiegazione. La Polare, stella di terza grandezza, forma l'estremità della coda dell'*Orsa*

(*) Anche per Milano questa costellazione rimane sempre sull'orizzonte.

Minore, costellazione costituita da sette stelle principali, disposte press' a poco alla stessa maniera di quelle dell' Orsa Maggiore, ma in direzione contraria.

Congiungendo δ dell' Orsa Maggiore colla Polare, e prolungando d'altrettanto questa retta al di là della Polare, trovasi la costellazione di *Cassiopea* (fig. 121). Essa consta di cinque stelle

Fig. 121.

di terza grandezza, che pel loro assieme richiamano la forma di un' M aperta: se a queste cinque stelle si aggiunge la piccola stella $\varkappa$, si trova la forma d' una *Sedia*, nome che talvolta si dà a questa costellazione; α e β sono i piedi della sedia, γ e $\varkappa$ ne formano il sedile; δ, ε la spalliera.

Prolungate le rette congiungenti α e δ dell' Orsa Maggiore colla Polare al di là di quest' ultima stella, comprendono tra

Fig. 122.

esse il *Quadrato di Pegaso*, formato da quattro stelle di seconda grandezza (fig. 122): tre di queste stelle appartengono alla costellazione di *Pegaso;* la quarta fa parte della costellazione d'*Andromeda.* Press' a poco nel prolungamento della diagonale del quadrato che congiunge α di Pegaso con α d'Andromeda, trovansi β e γ d'Andromeda, poi α di *Perseo*, tutte e tre di seconda grandezza. L'insieme di queste tre stelle e delle quattro del quadrato di Pegaso forma una gran figura avente molta rassomiglianza con quella dell'Orsa Maggiore.

Fig. 123.

La stella α di Perseo, di seconda grandezza, situata, come abbiam detto, nel prolungamento delle tre stelle α, β, γ d'Andromeda, ritrovasi tra due altre, γ di quarta grandezza e δ di terza (fig. 123), le quali formano assieme ad essa un arco volgente la concavità verso l'Orsa Maggiore, e facile a distinguersi. Dalla parte della convessità di quest'arco vedesi *Algol* o β di Perseo, il cui splendore varia periodicamente, siccome spiegheremo più tardi. Prolungando l'arco γ α δ di Perseo in linea curva, trovasi la *Capra*, appartenente alla costellazione del *Cocchiere.* Lo stesso arco prolungato da principio con un opposto incurvamento in guisa da passare tra Algol e la costellazione del Cocchiere, poi continuato in linea retta, incontra le stelle ε e ζ di Perseo, e termina al gruppo delle *Plejadi*, formato da un ammasso di stelle vicinissime le une alle altre.

Congiungendo la Polare alla Capra, e prolungando questa retta al di là della Capra, trovasi *Orione*, la più brillante fra le costellazioni, e che dalla sua forma (fig. 124) è facilmente ravvisata, senza ricorrere alle

Fig. 124.

stelle già conosciute. Essa si compone di sette stelle principali, quattro delle quali α, γ, β, $\varkappa$, occupano gli angoli di un gran quadrilatero, e le altre tre δ, ε, ζ sono fra loro vicine e disposte in linea obliqua, nel mezzo di questo quadrilatero; α e β sono di prima grandezza, le altre cinque di seconda. Le tre stelle centrali δ, ε, ζ formano il *Cinto d'Orione*, e si chiamano pure i *Tre re* o il *Rastrello.*

Fig. 125.

La linea del Cinto d'Orione, prolungata da una parte, passa per *Sirio* (fig. 125), la più brillante di tutte le stelle; essa appartiene alla costellazione del *Cane Maggiore:* la stessa linea, prolungata dall'altra parte, incontra *Aldebaran* o *l'Occhio del Toro,* stella di prima grandezza, e che fa parte della costellazione del *Toro.* Aldebaran trovasi egualmente sulla linea che congiunge α dell'Orsa Maggiore colla Capra.

La retta che congiunge δ e β dell'Orsa Maggiore, sufficientemente prolungata, va a passare tra due stelle di seconda grandezza, *Castore* e *Polluce,* della costellazione de' *Gemelli* (fig. 126), quindi per Sirio, di cui abbiamo già parlato. A poca distanza da questa medesima linea, tra Castore e Sirio, vedesi una stella di prima grandezza, *Procione,* che fa parte della costellazione del *Cane Minore.*

La retta che congiunge α e β dell'Orsa Maggiore, e che ci ha già servito per trovare la

Fig. 126.

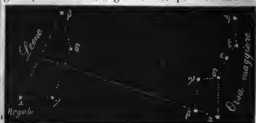



Fig. 127.

Polare, prolungata dal lato opposto, attraversa la costellazione del *Leone* (fig. 127); la quale contiene quattro stelle principali il cui assieme forma un gran trapezio: la più brillante di esse, *Regolo*, è di prima grandezza, due, β γ, sono di seconda grandezza, e la quarta, δ, di terza grandezza.

Prolungando la coda dell'Orsa Maggiore in linea curva, trovasi *Arturo*, stella di prima grandezza, che fa parte della costellazione di *Boote* o del *Bifolco* (fig. 128). A lato di Boote, e

Fig. 128.

nella direzione delle stelle β, δ, ε, ζ dell'Orsa Maggiore, vedesi la *Corona Boreale*, formata da più stelle disposte a semicerchio, la più brillante delle quali è di seconda grandezza.

La diagonale α γ dell'Orsa Maggiore, prolungata dalla parte di γ, va a passare per la *Spiga della Vergine* (fig. 129), stella

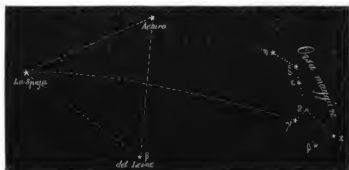



Fig. 129.

di prima grandezza, che appartiene alla costellazione della *Vergine*. Essa forma un triangolo equilatero con Arturo e β del Leone.

Vega è una bella stella di prima grandezza, che passa tutti i giorni allo zenit di Parigi (*), e che dipende dalla costellazione della *Lira* (fig. 130). Essa forma con Arturo e la Polare un

Fig. 130.

gran triangolo rettangolo, del quale occupa il vertice dell'angolo retto. Vicine a Vega trovansi due stelle di terza grandezza, β, γ, e tre di quarta grandezza, δ, ε, ζ; le quattro stelle β, γ, δ, ζ formano un parallelogrammo facile a distinguersi.

Tra la Lira e Pegaso trovasi il *Cigno*, costellazione formata da cinque stelle principali raffiguranti una gran croce (fig. 131). La retta che congiunge il Cigno coi Gemelli è tagliata in due parti eguali dalla Polare. La stessa linea, prolungata al di là del Cigno, passa per *Altair*, della costellazione dell'*Aquila*, stella di prima grandezza, che facilmente si riconosce a cagione delle due stelle β, γ, l'una di terza grandezza, di quarta grandezza

(*) Fra le stelle qui annoverate non è Vega quella che passa più vicina allo zenit di Parigi, sibbene α *Perseo*: Vega vi passa alla distanza di 10° 11', mentre α *Perseo* non vi passa distante che di 30'. Per Milano le stelle principali che passano vicinissime allo zenit sono la *Capra* e α *Cigno*, che vi passano la prima alla distanza di 23', la seconda di 42': Vega vi passa distante 6° 49'.

l'altra, che sono con essa press'a poco in linea retta ed a poca distanza dall'una e dall'altra parte.

Fig. 131.

67. **Leggi del moto diurno.** — Occupiamoci ora dello studio delle leggi di questo moto complessivo, al quale già riconoscemmo partecipare le diverse stelle.

Se ci volgiamo dalla parte di mezzodì, vediamo le stelle situate alla nostra sinistra sempre più elevarsi al di sopra dell'orizzonte, muovendosi da sinistra a destra; in capo a qualche tempo esse cessano di elevarsi, quindi si abbassano bentosto avvicinandosi sempre più all'orizzonte, ma pur continuando a muoversi da sinistra verso destra; insomma ciascuna di esse, siccome abbiam già fatto osservare, si muove press'a poco come il sole, il quale in ogni giorno sorge all'oriente, per tramontare all'occidente, dopo essersi in questo intervallo di tempo elevato più o meno al di sopra dell'orizzonte.

Supponiamo di essere muniti di un teodolite (45), e d'averlo disposto in tal luogo donde possiamo facilmente volgere lo sguardo ad una grande estensione di cielo, tanto a destra che a sinistra di mezzogiorno. Reso esattamente verticale l'asse dello strumento, possiam dirigere il cannocchiale del circolo verticale verso una stella situata a sinistra di mezzodì. Se si fa coincidere l'imagine della stella colla croce dei fili del reticolo, e se quindi si fissa il cannocchiale in questa posizione, immediatamente dopo si può riconoscere che la coincidenza più non esiste; la stella si allontana ognor più dall'asse ottico del cannocchiale, e in pari tempo s'innalza al di sopra dell'orizzonte:

ma bentosto la stella cessa d'elevarsi, e comincia ad avvicinarsi di nuovo all'orizzonte, muovendosi verso occidente. È facile il capire che giungerà un tal istante in cui la stella, abbassandosi per tal modo, si troverà alla medesima distanza dall'orizzonte, come quando il cannocchiale era stato diretto verso di essa; in guisa che, se si fa ruotare tutta la parte superiore del teodolite intorno al suo asse verticale, senza cambiare l'inclinazione del cannocchiale, si potrà, aspettandone il momento opportuno, stabilire una nuova coincidenza dell'imagine della stella col punto d'incrociamento dei fili del reticolo.

Se all'istante della prima osservazione la stella era, per esempio, in E (fig. 132) sulla sfera celeste, nel cui centro trovasi

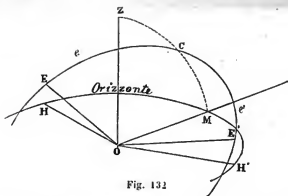



Fig. 132

il teodolite, il cannocchiale diretto secondo O E faceva coll'orizzonte H H' un certo angolo E O H: essendosi la stella elevata da E in C, ed essendosi poi riavvicinata all'orizzonte, venne osservata di nuovo in E', essendo l'angolo E' O H' eguale ad E O H. L'angolo H O H', di cui il cerchio verticale del teodolite ha dovuto ruotare intorno all'asse dell'istrumento per passare dalla prima alla seconda posizione, può essere misurato mediante il cerchio orizzontale. Conosciuto quest'angolo, si può far ruotare il cerchio verticale in guisa da condurlo nel piano Z O M, che lo divide in due parti eguali; poi, liberato il cannocchiale dal cerchio, si può abbassarlo sino a dirigerlo ad un oggetto terrestre facile ad osservarsi, come sarebbe un lume a tale scopo disposto, se, come implicitamente abbiam supposto, l'osservazione vien fatta di notte. Rimane così conservata la trac-

cia del piano verticale Z O M, e si può d'altra parte ricominciare un'operazione affatto simile, sia sulla medesima stella, osservandola in due altri punti *e*; *c'* della linea che le si vede descrivere, sia sopra un'altra stella. Ora, qualunque sia il numero delle operazioni che si compiono in questa maniera, risulta sempre quella medesima la direzione del piano analogo a Z O M, che divide in due parti eguali l'angolo dei piani verticali condotti per le posizioni ove trovasi la stella ad eguale altezza sopra dell'orizzonte.

Necessariamente adunque se ne conchiude: 1.° che il cammino apparente E *e* C *e'* E' di ciascuna stella è una curva simmetrica rispetto ad un piano verticale Z O M, che passa per conseguenza pel punto più elevato C di questa curva; 2.° che questo piano di simmetria della curva descritta da ciascuna stella è il medesimo per tutte le stelle. Questo piano, che contiene tutte le *culminazioni* C delle stelle, dicesi il *piano meridiano*, o semplicemente il *meridiano* del luogo ove son fatte le osservazioni.

Fin qui non abbiam parlato che delle stelle situate dalla parte di mezzodì. Ma volgendosi dalla parte di nord, e, senza cambiare la posizione del teodolite, osservando col suo cannocchiale le stelle che trovansi in quest'altra regione del cielo, si riconosce parimente che il piano meridiano, quale l'abbiamo definito, è pure un piano di simmetria per le curve descritte da queste stelle; e che non solamente contiene le loro culminazioni, ma ancora passa pei punti più bassi dei cammini apparenti di quelle che non discendono giammai al di sotto dell'orizzonte.

È utile l'osservare che la rifrazione atmosferica non ha alcuna influenza sul risultato cui siamo arrivati, e che le operazioni possono essere assolutamente compiute alla stessa guisa come se l'atmosfera non esistesse, ritenuto per altro che le circostanze di temperatura e di pressione dell'aria rimangano sensibilmente le stesse per tutta la durata di queste operazioni. È noto infatti che, ad eguaglianza di temperatura e di pressione atmosferica, la rifrazione non dipende che dalla distanza zenitale dell'astro osservato, o, ciò che torna lo stesso, dalla sua altezza al di sopra dell'orizzonte (57). Da ciò risulta che, quando una stella è veduta in due diverse posizioni alla stessa altezza al di sopra dell'orizzonte, essa trovasi realmente ad altezze eguali sopra di questo piano; le conseguenze pertanto che abbiamo dedotte da questa eguaglianza di altezze non sono punto alterate per aver considerate le altezze apparenti invece delle vere.

68. Determinato il piano meridiano di conformità a quanto abbiam detto, possiamo far ruotare tutta la parte superiore del teodolite in guisa da condurre il suo cerchio verticale ad esser diretto in questo piano, e quindi fissarlo invariabilmente in questa posizione. Se in seguito facciam ruotare il cannocchiale intorno al centro di questo cerchio, il suo asse ottico non uscirà dal piano meridiano, nel quale potrà assumere tutte le possibili direzioni. Potremo, per esempio, dirigere il cannocchiale verso una stella al momento in cui, in virtù del moto che studiamo, essa passa appunto pel piano meridiano, e ne concluderemo facilmente la sua distanza zenitale all'istante di questo passaggio.

Supponiamo che si facciano delle osservazioni di questa natura sulle stelle situate dalla parte di nord e che non sono soggette a tramontare; ciascuna di queste stelle passa pel meridiano in due diversi punti del cammino che percorre, vale a dire quando si trova nel punto più elevato e nel più basso di questo cammino medesimo. Se si determina la distanza zenitale di una di queste stelle all'istante del suo passaggio superiore al meridiano in E (fig. 133), quindi all'istante del suo pas-

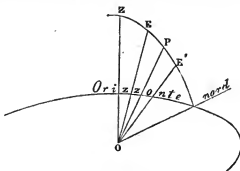



Fig. 133.

saggio inferiore in E', e si corregge ciascuno di questi due angoli dell'effetto della rifrazione (58); prendendo poi la semisomma dei due risultati così ottenuti, si troverà evidentemente l'angolo Z O P che la verticale O Z fa colla retta O P, condotta nel piano meridiano tra le due posizioni E, E' della stella e ad eguale distanza da queste due posizioni. Se in egual modo si opera sopra un numero qualunque di altre stelle che siano tutte nelle medesime condizioni, si troverà sempre lo stesso

valore per l'angolo Z O P; per cui si conchiude esistere nel piano meridiano una retta O P avente la proprietà di dividere in due parti eguali tutti gli angoli analoghi ad E O E', compresi dalle direzioni secondo cui si vede una medesima stella ne' suoi passaggi superiore ed inferiore al meridiano. Questa retta si dice *linea de' poli:* e diconsi *poli* i due punti diametralmente opposti ne' quali essa incontra la sfera celeste. Trovandosi il centro di questa sfera nel luogo medesimo dell'osservazione, e per conseguenza sul piano orizzontale che gli corrisponde, i due poli sono situati l'uno al di sopra e l'altro al di sotto dell'orizzonte, tranne il caso di circostanze affatto eccezionali sulle quali torneremo più tardi. Il polo che trovasi al di sopra dell'orizzonte a Parigi e in tutta Europa dicesi *polo boreale;* l'altro polo che occupa una regione del cielo costantemente invisibile in Europa dicesi *polo australe.* S'indica pure di frequente la linea dei poli col nome di asse del mondo, e vedremo fra breve la ragione di questa seconda denominazione.

Il polo boreale è vicinissimo ad una stella, di cui abbiamo precedentemente indicata la posizione, ed alla quale si dà per questa ragione il nome di *stella polare,* o semplicemente di *Polare* (66).

69. Abbiamo pertanto già acquistato due importanti nozioni sul moto complessivo delle stelle: la prima consiste nella simmetria dei cammini apparenti delle stelle rispetto al piano meridiano; la seconda in una specie di simmetria più particolare che esiste nel meridiano medesimo rispetto alla linea dei poli, e della quale non abbiam potuto riconoscere l'esistenza che per le stelle non soggette a tramonto: non ne rimane più dunque che un passo per giungere alla completa cognizione della natura del moto del quale ci occupiamo. Cerchiamo perciò di determinare la distanza angolare compresa tra la direzione O E (fig. 134), secondo la quale si vede una stella in un istante qualunque e la linea dei poli O P; o, ciò che torna lo stesso, l'arco E P compreso sulla sfera celeste tra la stella E e il polo P: ed è ancora mediante il teodolite che potremo raggiungere siffatta determinazione.

Facciamo ruotare il cerchio verticale di questo strumento dalla posizione che occupava precedentemente nel piano meridiano Z O M' finchè trovisi nel piano verticale Z O A della stella E: ciò che riconosceremo facendo sì che l'asse ottico del cannocchiale di cui è munito si diriga verso la stella. L'angolo di cui il cerchio avrà così ruotato, e il cui valore ci è dato dal

cerchio azimutale dello strumento, sarà precisamente l'angolo M' O A, o, ciò che torna lo stesso, l'angolo Z del triangolo

Fig. 134.

sferico P Z E. La posizione del cannocchiale sul lembo verticale farà in pari tempo conoscere la distanza zenitale Z O E della stella. Questa distanza zenitale trovasi è vero alterata dalla rifrazione atmosferica, la quale fa apparire la stella più alta che non sia realmente; ma gli è facile, come abbiamo già detto (58), tener conto di questo effetto della rifrazione e passare dalla distanza zenitale apparente, che fornisce la diretta osservazione, alla distanza zenitale vera, che si otterrebbe se non esistesse l'atmosfera. Vedesi adunque che mediante il teodolite, usato al modo che abbiam detto, noi troviamo i valori di due degli elementi del triangolo sferico Z P E, vale a dire l'angolo Z e il lato Z E che serve di misura all'angolo Z O E: noi conosciamo d'altronde l'angolo Z O P, dietro quanto precede (60), e quindi l'arco Z P che gli corrisponde. Sono pertanto conosciuti l'angolo Z e i due lati Z P, Z E che gli sono adiacenti; il triangolo Z P E rimane dunque completamente determinato, e se ne possono dedurre tanto i valori dei due angoli P, E di questo triangolo, quanto il valore del lato P E.

A tal fine si può imaginare che abbiasi a nostra disposizione un globo di legno o di cartone, disposto in guisa che si possano facilmente tracciare delle figure sulla sua superficie; mediante i tre elementi conosciuti del triangolo Z P E si potrà costruire questo triangolo sul globo; poi si otterranno i valori dei tre altri elementi mediante misure effettuate sulla figura medesima che si avrà tracciata. In luogo di questo processo grafico, si può altresì impiegare il calcolo trigonometrico, il quale

conduce allo stesso risultato, ma con molto maggiore esattezza. Questo secondo metodo è quello impiegato esclusivamente dagli astronomi in tutte le questioni che, al pari di questa, si riducono alla risoluzione di un triangolo sferico.

Checchè ne sia, operando nell'una o nell'altra maniera, si troverà il numero di gradi, minuti e secondi contenuti nell'arco di cerchio P E, che misura sulla sfera la distanza del polo boreale dalla stella E al momento in cui essa è stata osservata mediante il teodolite. Questo genere di osservazioni può essere ripetuto quante volte si vuole sulla medesima stella considerandola in molte posizioni, quali E', E'', ch' essa occupa successivamente in virtù del proprio moto; e per ciascuna volta se ne può anche dedurre il valore della distanza P E', P E'' della stella dal polo boreale. Ora, qualunque siano le posizioni in cui la stella si trova sul cammino che descrive, si ottien sempre per questa distanza lo stesso numero di gradi, minuti e secondi; gli archi P E, P E', P E'' sono tutti eguali fra loro. In oltre questa inalterabilità nella distanza d'una stella dal polo può verificarsi per tutte le stelle, nessuna eccettuata.

Ora dunque ci riesce facilissimo il definire con molta semplicità il moto complessivo delle stelle, o, ciò che torna lo stesso, il moto della sfera celeste, sulla quale noi possiamo imaginare che le stelle siano attaccate. I risultati ai quali siam giunti ci mostrano evidentissimamente che la sfera celeste ruota intorno alla linea dei poli come intorno ad un asse. Infatti è soltanto in virtù di questa specie di moto che tutte le stelle possono conservarsi ad una distanza invariabile dal polo boreale; ed ora si comprende perchè la linea dei poli sia di frequente indicata sotto il nome di asse del mondo.

Il meridiano d'un luogo è stato antecedentemente definito (67) come il piano verticale che divide in due parti, simmetriche l'una all'altra, le curve descritte dalle stelle. Possiamo ora darne un'altra più semplice definizione, e dire che il meridiano di un luogo è il piano che passa per la verticale di questo luogo e per l'asse del mondo.

70. E qui ci si presenta naturalmente la quistione, se la rotazione della sfera celeste testè verificata si compia con velocità costante ovvero variabile: dalla sua risoluzione riceve complemento la cognizione del moto delle stelle; e questa risoluzione si può ancor facilmente raggiungere mediante l'osservazione. Nell'indicare or fa un istante l'andamento a tenersi per ritrovare la distanza d'una stella dal polo, abbiam detto che, oltre a

questa distanza P E (fig. 154), possiam trovare egualmente gli angoli P, E del triangolo Z P E; supponiamo d'aver determinato l'angolo P, o Z P E, sia mediante un processo grafico, sia mediante un calcolo trigonometrico. Se in simil guisa determiniamo l'angolo Z P E′ quando la stella è in E′, poi l'angolo Z P E″ quand'essa è in E″, e così di seguito, ne dedurremo facilmente gli angoli E P E′, E′ P E″,.... per via di semplici sottrazioni; basta confrontare questi angoli coi tempi trascorsi mentre la stella è passata da E in E′, da E′ in E″,.... tempi che si saranno trovati notando l'ora indicata da un cronometro all'istante di ciascuna osservazione, per riconoscere che la stella ruota uniformemente intorno al polo: gli angoli E P E′, E′ P E″,.... sono proporzionali ai tempi loro corrispondenti. Adunque la sfera celeste ruota intorno alla linea dei poli con una velocità che rimane costantemente la stessa.

Il tempo che la sfera celeste impiega a compiere un intiero giro intorno alla linea dei poli è press'a poco un giorno (trattasi qui d'un giorno di 24 ore, compresi la giornata e la notte); gli è da ciò che il moto delle stelle dicesi *moto diurno*.

71. Prendendo un globo A (fig. 155), attraversato da un asse P Q, le cui estremità penetrino nello spessore di un cerchio M M; se questo globo è mobile attorno all'asse e può, insieme al cerchio M M, adattarsi sul piede N, come è indicato dalla figura, potremo col mezzo di questo globo rappresentarci in piccolo il moto diurno. Ce ne formeremo così un'idea precisa, poichè potremo cogliere d'un colpo d'occhio l'insieme di tutte le circostanze che presenta questo moto; e siccome possiamo a nostro arbitrio produrre la rotazione di questo globo e ripeterne il moto quante volte ci aggrada, così ci sarà possibile vedere in pochi istanti quanto l'osservazione diretta degli astri non ci avrebbe potuto mostrare che in un tempo assai più lungo.

Fig. 155.

Imaginiamo perciò che siasi disposto il globo sul suo piede in guisa che l'asse P Q abbia precisamente la direzione della linea ideale intorno cui si compie la rotazione diurna della sfera celeste. Supponiamo in oltre che siansi segnati sulla superficie del globo un certo numero di punti rappresentanti le principali stelle, disponendo gli uni rispetto agli altri e rispetto all'asse di rotazione P Q alla maniera medesima che sono queste stelle nel cielo. Facendo ruotare il globo nell'opportuna direzione, vedrassi ciascuna stella descrivere un cerchio elevandosi ed abbassandosi successivamente. Le une, bastantemente vicine al polo boreale P, non s'abbassano mai al di sotto del cerchio H H portato dal piede N, e che rappresenta l'orizzonte dell'osservatore, il quale si ritiene occupare il centro della sfera: al contrario le altre ora sono al di sopra ora al di sotto di questo cerchio; sorgono esse da una parte, ascendono sempre più, quindi si abbassano e finiscono col tramontare dall'altra parte: altre infine, vicine al polo australe Q, rimangono sempre al di sotto dell'orizzonte H H, e non divengono giammai visibili. Il cerchio fisso M M rappresenta il meridiano, al quale ciascuna stella viene a passare due volte nel tempo che descrive il suo cerchio diurno.

72. **Giorno sidereo.** — Non si è mai riconosciuta la menoma differenza tra le durate delle successive rotazioni della sfera celeste. La durata d'una rotazione, vale a dire il tempo che la sfera celeste impiega a compire un giro intiero, è dunque eminentemente proprio onde servire d'unità alla misura del tempo; gli si dà perciò il nome di *giorno sidereo* (dal vocabolo greco σιδυς, che significa stella).

Il giorno sidereo è alquanto minore del giorno ordinario, del quale più tardi vedremo la definizione, e non ne differisce che di circa quattro minuti. Si divide anch'esso in 24 ore, che diconsi ore sideree; l'ora siderea si divide in 60 minuti siderei; ed il minuto sidereo in 60 secondi siderei: il tempo valutato mediante il giorno sidereo e le sue suddivisioni dicesi *tempo sidereo*.

73. **Grande distanza delle stelle.** — Qualunque sia il luogo della terra ove compiamo la serie delle operazioni che abbiamo indicate per giungere alle leggi del moto diurno, arriviamo sempre al medesimo risultamento: l'insieme delle stelle ci apparisce ognora animato da un moto di rotazione intorno alla linea dei poli, definita per ciascun luogo siccome abbiam detto precedentemente. Gli è chiaro per altro che la linea dei poli, quale

trovasi in un luogo della terra, non è la stessa di quella che trovasi in un altro luogo, e che d'altra parte la rotazione diurna delle stelle non può compiersi nello stesso tempo intorno a parecchi assi fra loro differenti. L'identità dei risultati che otteniamo relativamente al moto diurno ne' diversi luoghi in cui ci poniamo per fare delle osservazioni astronomiche, non può spiegarsi che ammettendo che le dimensioni della terra siano eccessivamente piccole in confronto delle distanze esistenti tra essa e le stelle. Vedesi infatti che ciò essendo, basta che l'asse intorno al quale la sfera celeste ruota, o sembra ruotare, passi per un luogo determinato della terra, perchè il suo moto presenti esattamente le stesse apparenze per qualunque altro luogo d'osservazione parimente situato sulla terra; la distanza alla quale l'osservatore si trova dall'asse di rotazione è talmente piccola, avuto riguardo alla gran distanza delle stelle, che tutto succede per esso alla stessa maniera, come se fosse precisamente situato sull'asse medesimo; e le diverse linee intorno alle quali i differenti osservatori veggono ruotare la sfera celeste altro non sono che delle parallele a quest'asse di rotazione condotte pei luoghi ove essi trovansi collocati. Altrimenti, se le dimensioni della terra non fossero trascurabili in confronto delle distanze delle stelle, le apparenze che presenta il moto diurno sarebbero necessariamente diverse, secondo che lo si osservasse da uno, ovvero da un altro luogo.

Otteniamo così una prima nozione sulla grandezza della distanza che ne separa dalle stelle; e questa nozione, necessariamente imperfettissima, verrà in seguito completata. Vedremo allora come si potè giungere a misurare la distanza della terra da un piccolissimo numero di stelle, da quelle cioè che ci sono più vicine; e qualunque sia l'idea che abbiam potuto formarci della grande lontananza delle stelle mediante le antecedenti considerazioni, si riconoscerà che realmente questa lontananza è assai più considerevole di quanto non abbiamo dapprima creduto.

74. **Rotazione della terra.** — Prima di proseguire più oltre cerchiamo di spiegarci questo moto diurno delle stelle, del quale abbiamo indicate le leggi.

Abbiam detto precedentemente (55) che la terra è una mole isolata nello spazio, e che potrebbe essere eziandio in moto: se ciò fosse, noi che ci troviamo sulla terra e che partecipiamo al suo moto senza accorgercene, attribuiremmo naturalmente agli oggetti esterni un moto che non sarebbe che una apparenza dovuta allo spostamento della terra medesima. Gli è così

che un viaggiatore che sia sul ponte di un battello, il quale segua la corrente d'un fiume, vede gli oggetti situati sulla riva muoversi in direzione opposta a quella secondo la quale si muove il battello; e se obliasse d'essere egli stesso in moto, considererebbe quale moto reale questo spostamento degli oggetti esterni. Cerchiamo adunque di riconoscere se il moto diurno delle stelle non si comprenda in questo caso; se cioè non sia che una semplice apparenza dovuta ad un moto di cui la terra trovisi animata.

Non è difficile scoprire il moto che dovrebbe avere la terra perchè possa generare le apparenze che presenta il moto diurno. Se dessa fosse animata d'un moto uniforme di rotazione intorno ad uno de' suoi diametri, l'osservatore che parteciperebbe a questo moto, e che si crederebbe immobile, attribuirebbe necessariamente a tutti gli oggetti esterni, quali sono le stelle, un simile moto intorno dello stesso asse, ma in contraria direzione. Basterebbe dunque ammettere che le stelle siano immobili e che la terra ruoti uniformemente intorno ad un asse condotto pel suo centro parallelamente alla linea dei poli quale la si ritrova in un luogo qualunque d'osservazione, e d'occidente verso oriente, per spiegarci completamente le circostanze che presenta il moto diurno. L'osservatore, in moto insieme alla terra e credendosi in quiete, vedrebbe l'insieme delle stelle ruotare uniformemente da oriente verso occidente intorno all'asse di rotazione della terra, o, ciò che torna lo stesso a cagione della gran distanza delle stelle, intorno ad una retta parallela a quest'asse di rotazione, condotta pel luogo in cui l'osservatore trovasi collocato.

Vedesi così che il moto diurno può venire spiegato in due maniere diverse: o ritenere la terra immobile e le stelle muoversi di un moto comune di rotazione da oriente verso occidente intorno ad un asse che passa pel suo interno; ovvero al contrario ritenere che le stelle non si spostino e che la terra ruoti da occidente verso oriente intorno all'asse medesimo. Nell'uno e nell'altro caso le apparenze sono esattamente le stesse per un osservatore collocato sulla terra. Esaminiamo ora quali motivi possano farci adottare una di queste ipotesi a preferenza dell'altra.

Se le stelle, conformemente alle idee degli antichi, fossero tutte attaccate alla superficie di un'immensa sfera di cristallo, tanto potrebbesi ammettere l'immobilità della terra e il moto delle stelle, quanto l'immobilità delle stelle e il moto della terra.

Ma nulla di tutto ciò: l'osservazione prova irrecusabilmente, come vedremo più tardi, che le stelle sono corpi isolati, indipendenti gli uni dagli altri: di più la terra è un corpo immensamente piccolo in confronto alle distanze che la separano dalle stelle; essa non è, per così dire, che un granello di polvere nell'immensità dello spazio occupato dagli astri. Vedesi dunque subito quanto sia poco verosimile: 1.° che tutte le stelle, nessuna eccettuata, sieno animate da moti talmente fra loro concordanti da sembrare collegate in guisa da costituire un tutto solido; 2.° che il moto di rotazione di questo complesso di corpi si compia attorno ad un asse passante precisamente per questo corpo tanto piccolo che noi abitiamo e che chiamiamo terra. È infinitamente più semplice e naturale l'ammettere che questo moto diurno delle stelle non sia che un'apparenza dovuta alla rotazione di cui la terra è animata intorno ad uno de' suoi diametri.

La grande probabilità che risulta da queste considerazioni in favore della rotazione della terra è ancora aumentata dal confronto della terra coi pianeti. La terra, come vedremo più tardi, dev'essere annoverata fra i pianeti; ora l'osservazione fa vedere che tutti i pianeti sono animati da un moto di rotazione intorno a sè medesimi: è dunque naturalissimo ammettere che anche la terra sia dotata di un moto analogo e che da questo moto derivino tutte le apparenze del movimento diurno.

Esaminando la questione dal punto di vista meccanico, si riconosce pure che il moto di rotazione intorno alla linea dei poli è proprio della terra e non dell'insieme delle stelle. Se il moto diurno fosse attribuito alle stelle, ciascuna di esse E, E′, E″ (fig. 136), descriverebbe uniformemente un circolo situato in un piano perpendicolare alla linea dei poli T P; e i centri di questi circoli sarebbero situati ai piedi C, C′, C″ delle perpendicolari abbassate dalle diverse stelle su questa linea, vale a dire in punti generalmente lontanissimi dalla terra T. Ma è noto che un corpo perchè descriva un cerchio di moto uniforme è d'uopo che sia attirato verso il centro del circolo da una forza costante, la cui grandezza dipende insieme dalla velocità del corpo e del raggio del cerchio ch'esso descrive; le stelle E, E′, E″ non potrebbero dunque muoversi sopra i cerchi di cui abbiamo parlato se non nel caso che siano attirati verso i punti C, C′, C″ situati sulla linea dei poli. Ora non havvi esempio in natura che una forza applicata a un punto secondo una certa direzione non sia emanata da un altro corpo situato in questa medesima

direzione; una stella E non potrebbe essere dunque costantemente attratta verso il centro C, se non nel caso che questo

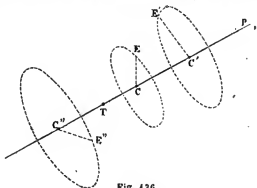



Fig. 136.

centro fosse occupato da un corpo immobile la cui presenza determinasse questa attrazione. Così, onde ammettere che le stelle ruotino realmente intorno alla linea dei poli, converrebbe che alcuni corpi fissi fossero distribuiti lungo tutta questa linea, nei punti C, C', C", i quali dovrebbero essere tanti quante sono le stelle. L' osservazione nulla indica di simile nel cielo; laonde non possiamo considerare le stelle come realmente in moto intorno alla linea dei poli. D'altra parte lo schiacciamento del globo terrestre, di cui parleremo fra breve, trova la sua naturalissima spiegazione nella rotazione della terra. Vedesi dunque che le leggi della meccanica respingono l'idea del moto delle stelle, ed appoggiano al contrario validissimamente quella della rotazione diurna del globo terrestre intorno ad uno dei suoi diametri.

Gli è impossibile il non arrendersi all'evidenza derivante da tutte queste ragioni, alcune delle quali acquisteranno d'altronde maggior forza a misura che procederemo: riguardasi perciò da lungo tempo il moto di rotazione della terra intorno alla linea dei poli come un'incontestabile verità, e il moto diurno degli astri come una semplice apparenza derivante dallo spostamento che prova l'osservatore trascinato dalla terra nella sua rotazione. Le belle esperienze fatte recentemente da Foucault, e sulle quali ritorneremo più tardi con qualche dettaglio, vennero a confermare ancora la realtà della rotazione della terra; o almeno, se desse non somministrarono ai dotti, sopra questo argomento, una prova più piena di quelle che abbiamo già

indicate, resero per altro il moto della terra sensibile, palpabile, per così dire, ad ogni persona. Malgrado ciò ne accadrà di parlare comunemente del moto diurno delle stelle come d'una realtà: di dire, per esempio, d'una stella, che essa si leva, tramonta, passa al meridiano; ma dovrassi ben richiamare che questo linguaggio, generalmente adottato dagli astronomi, non si riferisce che alle apparenze, e che a tutto rigore a tali espressioni dovrebbero essere sostituite le altre ad esse corrispondenti nell'idea del moto di rotazione della terra. Conserviamo questa maniera di parlare del moto diurno per accordarci colle dirette testimonianze de' nostri sensi; e prevenuti una volta per sempre che esso si riferisce alle apparenze e non alla realtà, non ne può derivare inconveniente di sorta.

75. **Cerchi della sfera celeste.** — Per facilitare l'indicazione della posizione delle stelle sulla sfera celeste, s'imaginarono dei cerchi tracciati sulla sua superficie, coll'ajuto de' quali il posto occupato da ciascuna stella può essere semplicissimamente indicato. Se la sfera celeste fosse stata immobile, potevano questi cerchi venir scelti arbitrariamente; ma avendo la sfera, almeno in apparenza, un moto uniforme di rotazione intorno ad un asse la cui direzione è invariabile, era naturale che i cerchi di cui parliamo venissero scelti in guisa d'essere intimamente collegati con questo moto.

Conduciamo pel centro C della sfera celeste (fig. 137), un piano perpendicolare all'asse del mondo P Q; questo piano taglia la superficie della sfera secondo un cerchio massimo E E, che dicesi *equatore celeste*. La sfera rimane divisa da questo cerchio in due emisferi, in ciascun de' quali uno de' due poli occupa una posizione centrale; l'emisfero in cui trovasi il polo boreale dicesi *emisfero boreale*, l'altro *emisfero australe*.

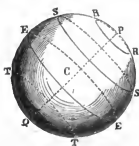



Fig. 137.

Tagliando la sfera mediante un piano qualunque parallelo all'equatore, si ottiene un circolo minore. che dicesi un *parallelo;* i cerchi R R, S S, T T sono altrettanti paralleli. Ciascuna stella, in virtù del moto diurno, descrive un parallelo della sfera. L'equatore è il massimo tra i paralleli, ed è il cerchio che viene descritto da una stella situata a 90 gradi di distanza angolare dal polo boreale.

Qualunque piano condotto per l'asse del mondo P Q taglia la sfera secondo un cerchio massimo come P E Q, che dicesi un *cerchio di declinazione*, e il piano medesimo di questo cerchio è di frequente designato col nome di *piano orario*. I cerchi di declinazione della sfera ruotano con essa intorno all'asse del mondo P Q, e ciascuno di essi viene alla sua volta a coincidere col piano meridiano del luogo in cui si trova l'osservatore.

Soventi volte si considera il meridiano come quel cerchio massimo secondo cui la sfera è tagliata dal piano meridiano; ma non devesi confondere questo cerchio massimo coi cerchi della sfera celeste. Il meridiano ha una posizione esattamente determinata per ciascun luogo d'osservazione; esso non partecipa al moto diurno, e rimane immobile mentre tutti i cerchi di declinazione della sfera vengono successivamente a coincidere con esso, per subito abbandonarlo continuando il loro movimento.

76. **Equatoriale.** — Uno dei principali strumenti degli osservatorii, l'*equatoriale*, ricevette una speciale disposizione che dipende essenzialmente dal moto diurno della sfera celeste. Un asse A A (fig. 158), intorno al quale può ruotare l'istrumento, è diretto secondo l'asse del mondo. Quest'asse porta lateralmente un cerchio graduato B B, che può ruotare nel suo piano ed intorno al suo centro; un cannocchiale C C, fissato al cerchio B B, lo segue nel suo moto, e il suo asse ottico può fare così un angolo variabile coll'asse del mondo. Un secondo cerchio graduato D D, il cui piano è parallelo all'equatore celeste, è fissato nel suo centro all'asse A A, in guisa da seguire tutto lo strumento nella sua rotazione intorno a quest'asse: la posizione di questo secondo cerchio ha dato il nome all'istrumento. Alcune morsette E, E, fornite di una vite di pressione e di un'altra di richiamo (59), sono destinate a render fisso il cerchio B B e il cannocchiale all'asse A A, opponendosi a che il cerchio ruoti intorno al suo centro: queste morsette sono portate dai pezzi F F, che fanno corpo coll'asse A A. Alcuni micrometri G, G, disposti come precedentemente abbiamo indicato (fig. 78 e 79, pag. 82 e 83), sono adattati all'estremità di alcune aste fissate solidamente all'asse A A, in modo da potersi osservare le divisioni che il cerchio B B porta sul suo contorno. Altri micrometri H, fissati alla solida base che porta l'estremità inferiore dell'asse A A, sono destinati ad osservare la graduazione del cerchio D D, graduazione che venne fatta sulla faccia superiore di questo cerchio e non sul suo contorno.

Dietro la disposizione dello strumento si vede che l'asse ottico del cannocchiale può essere diretto verso tutti i punti del cielo.

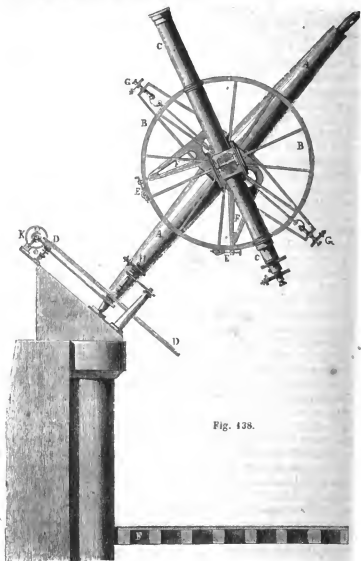



Fig. 138.

Facendolo ruotare col cerchio B B intorno al centro di questo cerchio, lo si può disporre sotto un angolo qualunque coll'asse del mondo; e fissando il cerchio B B in una posizione particolare, mediante le morsette E, E, se lo si fa quindi ruotare intorno all'asse A A, è chiaro che l'asse ottico del cannocchiale incontrerà la sfera celeste successivamente nei diversi punti di un medesimo parallelo.

Mediante un meccanismo particolare K si può mettere il cerchio equatoriale D D in comunicazione con un movimento d'orologeria, il cui pendolo regolatore sia disposto di tal maniera che, stabilita la comunicazione, il cerchio D D compia un intiero giro in un giorno sidereo. Da ciò è facile il comprendere che, diretto l'asse ottico del cannocchiale verso una stella, reso fisso il cerchio B B all'asse A A, e finalmente messo il cerchio D D in comunicazione col movimento d'orologeria, quest'ultimo cerchio trarrà seco tutto l'istrumento, e l'asse ottico del cannocchiale si manterrà sempre diretto verso la medesima stella. In questo modo si può verificare il moto uniforme di rotazione della sfera celeste, moto al quale fummo condotti mediante una serie di osservazioni fatte col teodolite; ma questa verificazione non può farsi esattamente in causa dell'atmosfera, la quale fa vedere gli astri secondo direzioni diverse da quelle che hanno realmente. Facendo uso del teodolite, abbiamo potuto trovare esattamente le leggi del moto diurno, perchè si ebbe cura di correggere i risultati ottenuti con questo strumento degli effetti della rifrazione: qui al contrario, col mezzo dell'equatoriale, noi osserviamo il moto delle stelle quale apparisce attraverso l'atmosfera, e non ne può quindi risultare il movimento medesimo come se l'atmosfera non esistesse. Però, finchè l'astro osservato non è vicinissimo all'orizzonte, e in conseguenza l'effetto della rifrazione non sia grandissimo, il cannocchiale dell'equatoriale, mosso dal movimento d'orologeria, segue press'a poco l'astro verso cui lo si ha primitivamente diretto: se il suo asse ottico non passa costantemente per l'astro, non se ne allontana però molto, e l'astro rimane nel campo del cannocchiale.

Attualmente non crediamo opportuno di far conoscere l'uso cui è destinato l'equatoriale; e se ne abbiamo fatta qui la descrizione ciò fu soltanto per il legamo intimo che esiste tra la sua disposizione e il moto di rotazione della sfera celeste, e per indicare l'approssimata verificazione ch'esso fornisce relativamente alle leggi di questo moto. Torneremo quanto prima a parlare di questo strumento, ed allora vedremo quale ne sia veramente l'uso.

77. Essendo assolutamente necessario che il cannocchiale dell'equatoriale si possa dirigere verso i differenti punti del cielo che sono situati al di sopra dell'orizzonte, è altresì indispensabile che l'istrumento venga collocato in guisa da non esserne la visuale impedita per nulla dagli oggetti vicini: lo si pone perciò comunemente sulla parte superiore dell'edificio destinato alle osservazioni astronomiche. Il suo asse è portato inferiormente da una base solida in muratura L (fig. 139), e supe-

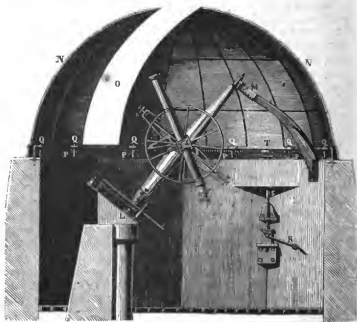



Fig. 139.

riormente da un pezzo di ghisa M, che si rende il più possibilmente sottile, a fine di non occultare che una piccolissima porzione di cielo. Per garantire l'istrumento dalle intemperie delle stagioni, lo si copre di un tetto N, a cui si dà comunemente la forma d'un emisfero: questo tetto presenta un'apertura O, lunga e poco larga, diretta secondo un piano verticale, chiusa di solito col mezzo di lastre che si fanno scorrere lateralmente in apposite scanalature. Ritirate queste lastre in guisa da rendere libera l'apertura O, il cannocchiale può venir diretto verso i punti del

cielo che trovansi nel piano verticale condotto pel mezzo di quest'apertura dallo zenit fino all'orizzonte, come pure verso i punti situati da una parte e dall'altra di questo piano, fino ad una certa distanza. Si può in oltre far ruotare l'intiero tetto N intorno alla verticale condotta pel suo centro, e portare così l'apertura ad esser diretta verso le differenti regioni del cielo. In questo movimento il tetto scorre sulle ruotelle P, P che lo portano, ed è mantenuto su di esse mediante altre ruotelle orizzontali Q, Q collocate nel suo interno. Il moto si produce col mezzo di una manovella R, che fa ruotare l'asse verticale S per l'intermediario di due ruote d'angolo; quest'asse porta un rocchetto dentato T, che imbocca ne' denti adattati alla base del tetto N, internamente ad esso e lungo tutto il suo contorno. Col mezzo di questo tetto girante si può dirigere il cannocchiale dell'equatoriale verso qualunque punto del cielo senza intieramente scoprire l'istrumento; e quando si vuol seguire un astro nel suo moto diurno, basta di tempo in tempo far ruotare il tetto, coll'ajuto della manovella R; in guisa che l'asse ottico del cannocchiale rimanga sempre diretto tra i due lembi dell'apertura O del tetto stesso.

L'equatoriale dell'Osservatorio di Parigi, sormontato dal suo tetto girante, è collocato nel mezzo della terrazza che sormonta l'edificio.

78. **Piedi parallattici.** — Conosciuta la disposizione dell'equatoriale, possiamo senza alcuna difficoltà comprendere in che cosa consistano i *piedi parallattici*, di cui sono muniti i forti cannocchiali.

Osservando un astro mediante un cannocchiale, ne vengono ingrandite le apparenti dimensioni, e tanto più quanto più potente è il cannocchiale: essendo poi l'astro in moto, viene pure egualmente ingrandita dal cannocchiale la quantità di cui esso si sposta in un tempo determinato; vale a dire la sua velocità apparente è aumentata nel rapporto medesimo in cui lo sono le sue dimensioni. Il moto diurno d'un astro che non è sensibile ad occhio nudo deve dunque distinguersi facilissimamente coi forti cannocchiali; ed è ciò che accade infatti quando s'impiega un forte ingrandimento, mentre in tal caso veggonsi gli astri spostarsi rapidamente e attraversare il campo del cannocchiale in brevissimo tempo. Disposto un cannocchiale nella direzione di un astro, se lo si lascia immobile in questa posizione non si può osservar l'astro che per un brevissimo intervallo di tempo, e bisogna spostarlo ad ogni istante per ricondurlo verso

l'astro, se l'osservazione che ci occupa deve durare appena qualche tempo. Da ciò si comprende quanto penose debbano rieseire le osservazioni sotto tali condizioni; ed affine di ovviarvi sorse il pensiero di mettere in moto il cannocchiale medesimo mediante un meccanismo d'orologeria, in guisa da seguir l'astro nel suo moto diurno senza che l'osservatore se n'abbia ad occupare. Con questo mezzo l'osservazione si fa colla stessa facilità come se non esistesse il moto diurno ed il cannocchiale rimanesse immobile. Tale è lo scopo dei piedi dei cannocchiali cui si dà il nome di *piedi parallattici*. Il qual nome deriva da ciò, che un cannocchiale montato sopra un cotal piede e messo in moto dal meccanismo d'orologeria che ne fa parte, si dirige successivamente verso i diversi punti d'uno stesso parallelo celeste.

Se s'imagina l'equatoriale come lo abbiamo descritto, col suo cannocchiale e col meccanismo d'orologeria che lo fa muovere, poi si sopprimono i due cerchi graduati che entrano a comporlo, si avrà l'idea di ciò che è un cannocchiale montato sopra un piede parallattico. Un piede di simil natura è costituito adunque: 1.° da un asse di rotazione, che si dispone parallelo all'asse del mondo; 2.° da un secondo asse fissato perpendicolarmente al primo e intorno cui può ruotare il pezzo che porta il cannocchiale; 3.° da un movimento d'orologeria disposto in guisa da far descrivere al cannocchiale un intiero giro intorno al primo asse durante un giorno sidereo. Il cannocchiale, ruotando intorno al secondo asse, può essere condotto a fare quell'angolo che si vuole colla direzione del primo, vale a dire coll'asse del mondo; combinando questa rotazione con quella che il secondo asse può effettuare intorno al primo, traendo seco il cannocchiale, si vede che si può dirigere questo cannocchiale verso uno qualunque degli astri che trovansi disseminati pel cielo. Basta allora stabilire un opportuno legame tra il primo dei due assi e il meccanismo d'orologeria perchè il cannocchiale segua l'astro nel suo moto diurno.

Il gran tetto mobile di forma emisferica, che da qualche anno sormonta la parte orientale dell'Osservatorio di Parigi, è destinato a contenere un piede parallattico, sul quale si potranno collocare i più forti cannocchiali dell'Osservatorio.

79. **Ascensioni rette e declinazioni.** — Abbiamo detto (75) che, per facilitare l'indicazione della posizione degli astri sulla sfera celeste, s'imaginarono su questa sfera una serie di circoli, quali l'equatore, i paralleli, i circoli di declinazione. Vediamo

ora come, col mezzo di questi circoli, si possa raggiungere lo scopo proposto.

Facciam passare per un astro qualunque A (fig. 140) il cerchio di declinazione P A Q che gli corrisponde; questo cerchio taglierà l'equatore E E in un punto M, ed è chiaro che, data la distanza angolare M O del punto M da un punto O preso arbitrariamente sull'equatore, e la distanza angolare A M dell'astro A dal piano dell'equatore, la posizione dell'astro sarà completamente determinata. La prima di queste due quantità, la distanza M O del piede del cerchio di declinazione che passa per l'astro dal punto fisso O, è ciò che dicesi l'*ascensione retta* dell'astro; la distanza angolare A M dell'astro dall'equatore, contata sul cerchio di declinazione P A Q, è la sua *declinazione*.

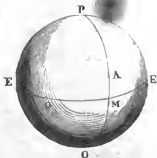



Fig. 140.

Il punto O, origine delle ascensioni rette, può essere preso come vuolsi sull'equatore celeste; si può scegliere, per esempio, per questa origine il punto d'incontro dell'equatore col cerchio di declinazione di una stella molto notevole, siccome Sirio. Ma non è quanto si fece dagli astronomi; essi si accordarono tutti nel prendere, per origine delle ascensioni rette, un punto che dipende dal moto del sole, e che non potremo far conoscere che quando ci occuperemo di questo moto. Checchè ne sia, l'ascension retta d'un astro si conta sull'equatore a partire dall'origine adottata, andando sempre nella direzione da occidente ad oriente; ed il suo valore rimane sempre compreso tra 0 e 360 gradi. La declinazione di un astro non può oltrepassare i 90 gradi: ed è boreale od australe secondo che l'astro cui si riferisce è situato nell'emisfero boreale ovvero nell'australe. Si vede da ciò che, per far conoscere la declinazione d'un astro, non basta dire di quanti gradi, minuti e secondi essa sia, ma è indispensabile l'aggiungere se questa declinazione è boreale od australe; ed è appunto ciò che si fa, giacchè scrivendo il valore di una declinazione, si fa seguire questo valore da una delle lettere B, A, iniziali dei vocaboli *boreale*, *australe*.

Tutti i punti situati sopra un medesimo parallelo della sfera celeste hanno una medesima declinazione, e tutti i punti situati sopra uno stesso cerchio di declinazione, o piuttosto sopra uno

stesso semicerchio di declinazione terminato ai due poli, hanno una medesima ascension retta. Vedesi dunque che la cognizione della declinazione d'un astro trae seco quella del parallelo sul quale esso è situato; e che la cognizione della sua ascensione retta trae seco quella del semicerchio di declinazione che lo contiene: l'unico punto d'incontro di questo parallelo con questo semicerchio di declinazione non è altro dunque che la posizione dell'astro, la quale, come si vede, rimane intieramente determinata, senza alcuna ambiguità, dalla simultanea cognizione della sua ascension retta e della sua declinazione.

Comprendesi pertanto che gli astronomi dovettero cercare i mezzi più semplici e nello stesso tempo i più esatti per misurare le ascensioni rette e le declinazioni degli astri. Noi faremo conoscere quelli che vengono attualmente impiegati in tutti gli osservatorii, e che conducono a risultati di grandissima precisione.

80. Cannocchiale meridiano o strumento dei passaggi (*). — *Cannocchiale meridiano* è lo strumento destinato specialmente alla misura delle ascensioni rette. Esso consiste essenzialmente in un cannocchiale suscettibile di muoversi in guisa che il suo asse ottico possa prendere tutte le possibili direzioni nel piano meridiano del luogo in cui è collocato, senza uscire giammai da questo piano. A tale scopo il cannocchiale A A (fig. 141) è montato sopra di un asse solido B B, terminato a' suoi due estremi da due piccoli pernii cilindrici, i quali riposano sopra dei cuscinetti portati da solidi pilastri C C, e possono muoversi senza difficoltà nell'interno di questi cuscinetti, in guisa che il cannocchiale, ruotando liberamente col suo asse, possa prendere un numero indefinito di differenti direzioni. La linea ideale intorno cui si compie il moto di rotazione, e che coincide cogli assi di figura dei due pernii, è diretta perpendicolarmente al meridiano del luogo; in oltre l'asse ottico del cannocchiale è esattamente perpendicolare all'asse di rotazione, per cui rimane costantemente nel meridiano, qualunque sia la posizione che si dà al cannocchiale, facendolo ruotare nei cuscinetti che lo portano.

In virtù del moto diurno, tutti gli astri vengono successivamente a passare pel piano meridiano; ed il cannocchiale meridiano serve a determinare il momento preciso in cui succede

(*) Questo strumento venne imaginato verso il 1675 dal celebre astronomo danese Olao Röemer, e le numerose osservazioni da esso fatte all'osservatorio di Copenaghen ne comprovarono bentosto l'eccellenza.

questo passaggio per ciascun d'essi: da ciò il nome che riceve frequentemente di *strumento de' passaggi*. Esso è munito d'un

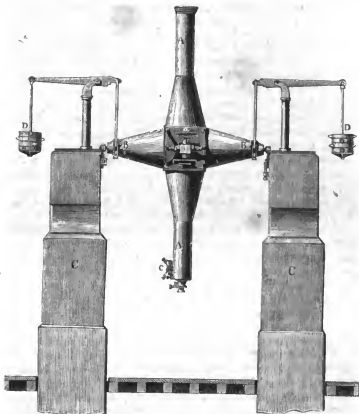



Fig. 141.

reticolo a più fili, com'è indicato dalla figura 142; e facendo ruotare il cannocchiale intorno al suo asse, dirigendolo verso un astro che trovasi press' a poco nel meridiano, vedesi l'imagine dell'astro muoversi attraverso questo reticolo, incontrando successivamente i diversi fili di cui si compone. Il filo *m m* e il filo ideale *u u*, perpendicolare al primo, determinano colla loro intersezione *o* la posizione dell'asse ottico del cannocchiale (30). Dietro ciò che precedentemente fu detto sul modo con cui il

cannocchiale è collocato, è chiaro che all'istante in cui vedrassi l'imagine dell'astro coincidere col punto *o*, quest'astro sarà nel piano meridiano. Ma se si osserva che il filo *m m* è tutto situato nel piano meridiano, e che vi resta costantemente, qualunque sia la posizione che assume il cannocchiale nel suo moto di rotazione, si vedrà non essere indispensabile condurre l'imagine d'un astro a coincidere col punto *o* per assicurarsi che quest'astro è nel meridiano; basta evidentemente che l'imagine dell'astro si nasconda dietro un punto qualunque del filo *m m*. Gli è per ciò che il filo orizzontale *u u* venne soppresso, sostituendovi due altri fili orizzontali *r r*, *s s*, egualmente lontani dal filo ideale *u u*; ed è tra questi due fili che si riduce sempre l'imagine dell'astro osservato, facendo muovere opportunamente il cannocchiale affinchè la coincidenza di quest'imagine con uno dei punti del filo *m m* si faccia in una parte di quest'ultimo filo compresa tra quelli.

Fig. 142.

A malgrado della grande perfezione che si giunse a dare agli strumenti e tutta l'attenzione messa in opera dagli osservatori più esercitati, la determinazione dell'istante del passaggio d'un astro al meridiano, mediante la coincidenza della sua imagine con uno dei punti del filo *m m*, è capace ancora di un tal errore da non essere trascurato. Per diminuire quest'errore il reticolo del cannocchiale meridiano contiene quattro altri fili *n n*, *p p*, *n' n'*, *p' p'*, tutti paralleli ad *m m* e disposti simmetricamente dall'una e dall'altra parte di esso. Invece di limitarsi ad osservare l'istante del passaggio dell'imagine d'un astro dietro il filo meridiano *m m*, si osservano gl'istanti de' suoi passaggi dietro i cinque fili paralleli, e si prende la media dei valori del tempo corrispondente a ciascuno di questi cinque passaggi: in questo modo si ottiene un risultato più esatto di quello che si avrebbe limitandosi alla sola osservazione del passaggio pel filo medio (*).

(*) Questo metodo non può valere che pel caso in cui il primo ed il quinto filo, così come il secondo ed il quarto, sieno esattamente equidistanti dal terzo, il che è assai difficile d'ottenere. In quella vece, mediante osservazioni di stelle equatoriali, si determinano rigorosamente le distanze del filo medio da ciascuno degli altri quattro fili; e si calcolano quindi per le diverse stelle, a norma delle loro declinazioni, i tempi che esse debbono impiegare per passare da ciascun filo orientale al filo medio, e da questo a ciascun filo occidentale: dall'istante del passaggio dell'imagine di una stella per uno dei fili laterali si può cavare adunque quello cor-

81. Il cannocchiale meridiano dev'essere naturalmente accompagnato da un orologio di gran precisione, destinato a indicare il tempo corrispondente a ciascheduna osservazione. Quest' orologio, che ha per motore un peso e un pendolo per regolatore (11), è disposto in guisa da indicare il tempo sidereo (72). Una mostra, divisa in 24 parti eguali, è percorsa da una lancetta nello spazio di un giorno sidereo; per cui la lancetta impiega un'ora siderea a percorrere una delle sue divisioni. Una seconda lancetta compie un giro intero in un'ora; e la sua estremità muovendosi sopra un cerchio diviso in 60 parti eguali, ciascuna di queste parti viene quindi percorsa da questa lancetta in un minuto sidereo. Parimente una terza lancetta compie un intiero giro in un minuto, e impiega un secondo sidereo a percorrere la sessantesima parte della mostra sulla quale si muove. Ciascuna oscillazione del pendolo si compie in un secondo, per modo che il principio dei successivi secondi è indicato dal rumore che fa lo scappamento dell'orologio ad ogni oscillazione del pendolo. L'osservatore, che tiene l'occhio al cannocchiale meridiano e che osservò anticipatamente la posizione che occupavano le lancette dell'orologio, può contare i secondi successivi coll'ajuto di questo rumore, e conoscere ad ogni istante l'ora segnata dall'orologio senza togliersi dalla sua osservazione.

Dietro quanto abbiamo detto si comprende come si possa determinare, entro un secondo, il momento in cui un astro passa per il meridiano; ma un tal grado d'approssimazione è lungi dall'essere sufficiente, come vedremo bentosto. Quindi è che gli astronomi impiegano dei mezzi particolari per suddividere gli intervalli di tempo, più che non fanno gli orologi a secondi; ed arrivano, con un po' d'abitudine, a valutare il tempo entro un decimo di secondo. Due diversi mezzi servono loro per raggiungere questo scopo. Il primo consiste nel regolare la propria respirazione sulle battute del pendolo; dalla porzione maggiore o minore d'un periodo di movimento respiratorio trascorsa all'istante medesimo in cui ha luogo il passaggio dell'astro osservato dietro uno dei fili del cannocchiale si può valutare il numero di decimi di secondi che sono trascorsi dall'ultima battuta del pendolo fino a quest'istante. Il secondo mezzo consiste nel seguire l'imagine dell'astro nello spostamento che prova nel piano del

rispondente al suo passaggio pel filo medio; per cui dagli istanti dei passaggi dell'imagine d'una stella ai cinque fili si hanno cinque tempi tutti corrispondenti al passaggio di essa pel filo medio: la media di questi cinque tempi rappresenta con grandissima esattezza il tempo richiesto.

reticolo, e conservare per quanto è possibile la traccia delle posizioni ch'essa occupa successivamente all'istante di ciascuna battuta del pendolo: se, per esempio, quest'imagine si trova in e (fig. 143) all'istante della battuta che precede il suo passaggio dietro uno dei fili, ed in e' all'istante della battuta seguente, l'osservatore, che vede ancora il punto e quando l'imagine giunge in e', può facilmente riconoscere quanti decimi della distanza totale $e\,e'$ sono contenuti nella distanza $e\,m$: questo numero di decimi è nello stesso tempo il numero dei decimi di secondo che sono trascorsi dalla battuta del pendolo corrispondente alla posizione e dell'imagine fino al suo passaggio dietro al filo.

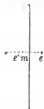



Fig. 143.

82. Vediamo ora come l'osservazione dei passaggi degli astri al meridiano, fatta mediante il cannocchiale meridiano e l'orologio che l'accompagna, possa condurre alla cognizione delle loro ascensioni rette. Supponiamo che il punto dell'equatore celeste, che serve d'origine alle ascensioni rette, sia un punto visibile, per esempio, una stella, e che per conseguenza si possa osservar l'istante del suo passaggio al meridiano. Se in appresso si osserva l'istante del passaggio d'un astro qualunque al meridiano, se ne conchiuderà facilmente il tempo trascorso tra le due osservazioni. Ora egli è chiaro che dall'istante in cui l'origine delle ascensioni rette è passata al meridiano fino all'istante in cui l'astro che si considera si è portato nel medesimo piano, la sfera celeste ha dovuto ruotare intorno all'asse del mondo d'un angolo precisamente eguale all'ascensione retta di quest'astro. Basta dunque trovare il valore di quest'angolo di cui la sfera celeste ha ruotato nell'intervallo delle due osservazioni, ciò che si potrà fare senza alcuna difficoltà, conoscendosi il tempo trascorso tra esse. In 24 ore sideree la sfera celeste ruota di 360 gradi; in un'ora siderea ruota di 15 gradi; in un minuto sidereo ruota d'un angolo 60 volte minore, vale a dire di 15 minuti; in un secondo sidereo essa ruota d'un angolo di 15 secondi: trovato quindi il numero di ore, minuti e secondi siderei trascorsi dal passaggio dell'origine delle ascensioni rette al meridiano fino al passaggio d'un astro qualunque, basta moltiplicare questo numero per 15 per avere l'ascension retta dell'astro. Se, ad esempio, il tempo compreso tra i due passaggi è di $2^h\,43'\,26'',7$, facendo questa moltiplicazione risulta l'ascensione retta di $40^\circ\,51'\,40'',5$.

Realmente l'origine delle ascensioni rette non è un punto visibile e che si possa osservare al cannocchiale meridiano, come

si osserva una stella; ma non manca il mezzo di sapere ogni giorno l'istante in cui quest' origine passa per il meridiano. con tanta esattezza quanta se ne avrebbe osservandola direttamente; e ne daremo la spiegazione più tardi, quando saremo in grado di far conoscere qual è il punto dell'equatore celeste che si prende per origine delle ascensioni rette. Anche l'orologio che serve alle osservazioni dei passaggi si regola in guisa che segni 0h 0' 0" all'istante in cui questo punto dell'equatore passa al meridiano; cosicchè per avere l'ascension retta d'un astro basta moltiplicare per 15 il numero di ore, minuti e secondi segnato dall'orologio all'istante in cui quest'astro passa al meridiano.

Da questa determinazione delle ascensioni rette mediante l'osservazione dei passaggi vediamo che ogni secondo sidereo corrisponde ad un angolo di 15 secondi. Da ciò si comprende perchè gli astronomi non possono accontentarsi di conoscere il tempo del passaggio d'un astro al meridiano entro un secondo; l'ascension retta che se ne dedurrebbe sarebbe lungi dall'esser conosciuta col grado d'approssimazione con cui si ottengono generalmente gli angoli misurandoli con cerchi graduati. Valutando il tempo del passaggio d'un astro al meridiano entro un decimo di secondo, se ne ottiene l'ascension retta coll'approssimazione di un secondo e mezzo in arco.

85. Vedesi dunque essere importantissimo che il cannocchiale meridiano soddisfaccia esattamente alle condizioni di sua collocazione, quali abbiamo supposto raggiunte, affinchè il suo asse ottico non esca dal piano meridiano, qualunque sia la posizione ch'esso prende ruotando intorno al suo asse. E siccome potrebbero accidentalmente succedere degli spostamenti tali da rendere erronei i risultati delle osservazioni, così è pure importantissimo che gli astronomi possano verificare, con quella maggior frequenza che stimano opportuna, se queste condizioni di collocazione trovansi sempre esattamente raggiunte. Ci faremo ora ad esporre le operazioni semplicissime mediante le quali non solo si opera una tale verificazione, ma si può anche rettificare la posizione del cannocchiale, nel caso in cui la verificazione manifestasse qualche difetto di collocazione. Tali operazioni sono in numero di tre: la prima ha per oggetto di verificare l'orizzontalità dell'asse di rotazione dello strumento; la seconda di verificare se l'asse ottico del cannocchiale sia esattamente perpendicolare all'asse di rotazione; la terza finalmente di verificare se il piano verticale, che descrive in questo caso l'asse ottico del cannocchiale quando ruota ne' suoi cuscinetti, coincida esattamente col piano meridiano.

Per verificare l'orizzontalità dell'asse di rotazione si fa uso di un gran livello a bolla d'aria A A (fig. 144), la cui montatura è terminata alle sue estremità con due aste ad uncino B, B. La distanza di queste due aste dev' essere determinata in guisa che gli uncini, di cui esse sono munite, possano collocarsi sui pernii del cannocchiale nella piccola porzione di questi pernii che trovasi tra ciascun cuscinetto e la parte conica dell' asse del cannocchiale (fig. 141, pag. 169). Sospeso così il livello al di sotto dell'asse, si osservano i punti del tubo di vetro ove si fermano le due estremità della bolla d'aria; poscia s'inverte il livello, mettendo a sinistra l'uncino che era a destra, e reciprocamente, e si osservano di nuovo i punti del tubo tra i quali la bolla rimane compresa: se l'asse di rotazione è esattamente orizzontale questi due punti devono essere quei medesimi di prima. Nel caso in cui quest'operazione indicasse non essere l'asse orizzontale, si toglierebbe l'errore d'orizzontalità alzando od abbassando d'una piccola quantità uno dei due cuscinetti, cui è adattata una vite, mediante la quale questo movimento si può produrre liberamente (fig. 145). È indispensabile che i due uncini, che servono a sospendere il livello ai due pernii, sieno disposti in guisa da assumere una posizione affatto determinata quando si pongono sulle superficie di questi pernii; a tale scopo si dà loro la forma angolosa (fig. 146), a fine di togliere quelle oscillazioni che si potrebbero produrre qualora fossero arrotondati interiormente.

Fig. 144.

Fig. 145.

Fig. 146.

A fine di assicurarsi che l'asse ottico del cannocchiale sia esattamente perpendicolare all'asse di rotazione, si pone a grande

distanza una mira tale che si possa vedere col cannocchiale. Segnato esattamente il punto di essa verso cui si dirige l'asse ottico del cannocchiale, vale a dire il punto la cui imagine rimane nascosta dietro il mezzo del filo meridiano *m m* (fig. 142), si toglie il cannocchiale da' suoi cuscinetti, poi lo si inverte, mettendo sul cuscinetto a sinistra il pernio che era sul cuscinetto a destra, e reciprocamente; dopo questa inversione osservando di nuovo la mira, si deve vedere l'imagine del medesimo punto nascondersi dietro il mezzo del filo meridiano *m m*. Infatti se l'asse ottico A B (fig. 147) è esattamente perpendicolare all'asse di rotazione C D, dopo il rivolgimento del cannocchiale deve riprendere esattamente la stessa direzione di prima, e per conseguenza dirizzarsi al medesimo punto della mira M; mentre se ha una direzione obliqua A′ B′, dopo questo rivolgimento prende la direzione A″ B″, e viene necessariamente ad incontrare la mira M in due punti diversi.

Fig. 147.

Se per tal modo si riconosce che l'asse ottico non è esattamente perpendicolare all'asse di rotazione, conviene togliere l'errore muovendo il reticolo trasversalmente nell'interno del cannocchiale, finchè la verificazione antecedente possa rigorosamente aver luogo.

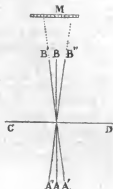
Quando l'asse ottico del cannocchiale è perpendicolare all'asse di rotazione, nella rotazione del cannocchiale l'asse ottico medesimo descrive un piano; altrimenti descrive un cono più o meno acuto secondo che è più o meno obliquo all'asse di rotazione. D'altra parte, quando l'asse di rotazione è orizzontale, il piano che descrive l'asse ottico è necessariamente verticale. Non rimane più dunque che assicurarsi se questo piano verticale coincida esattamente col piano meridiano, e stabilire questa coincidenza nel caso che non esista. Osservansi perciò al cannocchiale meridiano le ore dei passaggi successivi superiore ed inferiore di una delle stelle circompolari che rimangono costantemente sopra l'orizzonte: se il piano verticale che descrive l'asse ottico del cannocchiale, e nel quale si sono osservati i passaggi, coincide col piano meridiano, l'intervallo di tempo compreso tra un passaggio superiore e il successivo passaggio inferiore deve risultare eguale all'intervallo di tempo compreso

tra questo passaggio inferiore ed il passaggio superiore che lo segue immediatamente; ciascuno di questi due intervalli di tempo deve essere di 12 ore sideree. Nel caso in cui si trovasse una differenza tra questi intervalli di tempo, se ne concluderebbe che il piano verticale descritto dall'asse ottico del cannocchiale non coincide col piano meridiano; e si determinerebbe questa coincidenza facendo muovere orizzontalmente l'uno dei due cuscinetti, e veramente quello che non venne toccato quando si è reso orizzontale l'asse di rotazione. A tale scopo questo cuscinetto è munito di una vite (fig. 148), mediante la quale si può smuoverlo d'una piccola quantità finchè venga raggiunta l'eguaglianza degli intervalli di tempo compresi tra i passaggi successivi superiori ed inferiori d'una medesima stella circompolare.

Fig. 148.

Devesi osservare che queste tre operazioni, le sole che occorrono per assicurarsi dell'esatta collocazione d'un cannocchiale meridiano, sono semplicissime e possono essere frequentemente ripetute dagli astronomi; motivo per cui si può avere una grandissima fiducia nei risultati ottenuti mediante questo strumento. È bensì vero che trovandosi qualche errore nella posizione del cannocchiale, i tentativi che si devono fare per verificarlo possono essere alquanto lunghi, ed esigere anche parecchi giorni; ma è rarissimo che s'incontri una tale circostanza. Una volta ben collocato il cannocchiale, le verificazioni cui lo si sottomette di tempo in tempo non fanno solitamente che dimostrare non essere occorso alcun spostamento, e non esigono realmente che un brevissimo tempo (*).

(*) A vero dire riesce assai difficile, coi mezzi meccanici superiormente esposti, di togliere affatto gli errori dello strumento, anche perchè, a cagione delle esterne influenze, esso va soggetto a continue variazioni: d'altra parte poi i continui smuovimenti che si producono nelle diverse parti del cannocchiale riescono a detrimento della stabilità delle parti medesime. Ridotti pertanto piccolissimi gli errori, si preferisce determinare la loro grandezza colla maggior possibile frequenza, ed introdurne le opportune correzioni nei risultati delle osservazioni; al qual uopo si può usare del seguente processo.

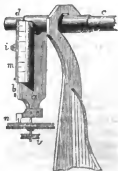
In primo luogo, quanto all'errore d'*orizzontalità dell'asse*, sospeso il livello ai due pernii e fattane l'inversione, per ciascuna sua posizione,

84. Rimangono ancora a conoscersi, rispetto al cannocchiale meridiano, alcuni dettagli, ommessi a bella posta nella succinta descrizione fatta dianzi, a fine di non mostrare dapprima se non quanto è essenziale e caratteristico in questo strumento.

si leggono sul tubo i numeri delle divisioni corrispondenti ai due estremi della bolla; se l'asse dello strumento non è esattamente orizzontale e se gli uncini del livello non sono egualmente distanti dal tubo, è chiaro che in una posizione del livello i due difetti cospireranno nell'allontanare la bolla dal mezzo del tubo, e nell'altra tenderanno ad elidersi vicendevolmente: dalle fatte letture si ha un mezzo facile per determinare la grandezza di ognuno di essi.

È d'uopo per altro determinare dapprima il *valore in arco* d'una parte del livello, vale a dire l'angolo d'inclinazione di cui si deve muovere il livello medesimo affinchè ciascun estremo della sua bolla si muova d'una parte segnata sul tubo. A tal fine si può attaccare il livello all'alidada di un circolo verticale, far descrivere all'alidada un tal arco che veggasi un estremo della bolla muoversi d'un certo numero di parti, e leggere l'arco percorso dall'alidada: dividendo il numero di secondi contenuti in quest'arco pel numero delle parti percorse dall'estremo della bolla si ha il richiesto valore in arco d'una parte del livello. Alla stessa determinazione serve eziandio benissimo un congegno già da molti anni imaginato dall'astronomo cavalier Carlini. Esso consiste in due piccole lastre metalliche, di cui una è rappresentata da *a* (fig. 149), poste di taglio e fermate saldamente in un muro, ad opportuna distanza l'una dall'altra: accanto ad ognuna di esse s'insinua una seconda lastra *b*, che vi si può far scorrere parallelamente mediante una vite micrometrica *v*, e che termina superiormente con un incavo a facce inclinate, come sono i cuscinetti su cui s'appoggiano i pernii del cannocchiale meridiano; in questi due incavi sono adagiati gli estremi *d* di un bastone di ferro *c*, che ivi è lavorato perfettamente cilindrico, e sul quale poi viene sospeso a staffa il livello. Ciascuna delle due lastre *a* porta una piccola lamina *m* su cui sono segnate delle divisioni, le quali comprendono intervalli di nota grandezza, per esempio millimetri, mentre le altre due lastre *b* hanno un indice *i*: facendo girare

Fig. 149.

la vite *v* in un verso, l'indice *i* s'innalza e si conosce quanti giri deve fare la vite perchè quest'indice si sollevi di una delle divisioni. Ciascuna vite micrometrica poi è munita d'un disco *n*, la cui circonferenza è divisa in parti eguali che servono a misurare le frazioni di giro della corrispondente vite. Disposto tutto in modo che la bolla del livello occupi press'a poco il mezzo del tubo, si fa girare una delle viti, per esempio *v*, sollevando il corrispondente punto d'appoggio *d* del bastone *c*, e contando i

I pilastri C, C (fig. 150), sui quali il cannocchiale è adagiato, sono assai solidamente eretti in muratura, con fondamenti proprii e affatto indipendenti dal fabbricato in cui trovasi posto il cannocchiale. Tale disposizione ha per oggetto di difendere l'istrumento dai movimenti che spesso avvengono nei muri degli edifici, movimenti che debbonsi temere molto meno in mole isolate, cinte di grosse pietre tagliate e tra loro congiunte colla massima cura.

Gl'incavi dei cuscinetti entro cui debbono ruotare i pernii del cannocchiale presentano due facce piane inclinate, come vedesi nelle figure 145 e 148, affine di ottenere che ciascun pernio vi assuma una posizione affatto determinata senza la menoma oscillazione.

giri e le frazioni di giro descritte dalla stessa vite *v*; si osserva insieme il numero delle parti del livello di cui si mosse un estremo della bolla; e sapendosi anche la distanza dei punti d'appoggio del bastone *c*, si arriva a conoscere il richiesto valore in arco d'una parte del livello. Per raggiungere una maggior esattezza si ripete quest'operazione più volte, ritornando ad ogni volta la bolla del livello nella primitiva posizione col sollevare la vite micrometrica corrispondente all'altro appoggio.

In secondo luogo, per determinare l'errore di *perpendicolarità dell'asse ottico* del cannocchiale rispetto all'asse di rotazione dello strumento, invece di far uso di una mira meridiana, conviene ricorrere ad osservazioni della stella polare, la quale, attesa la piccolissima sua distanza dal polo, è dotata di un lentissimo moto apparente, e rimane per lungo tempo visibile nel campo del cannocchiale. Conosciuti pertanto gl'istanti del passaggio della polare pei primi due fili, s'inverte lo strumento, con che si viene anche ad invertere la posizione di quei due fili rispetto al filo medio; in appresso si determinano di nuovo gl'istanti del passaggio della stella per essi, e conosciuti gl'intervalli di tempo che devono scorrere tra i passaggi della stella per questi due fili e il passaggio pel filo medio, dalle fatte osservazioni nelle due posizioni del cannocchiale si ottengono due tempi pel passaggio di essa stella pel filo medio: se questi due tempi si corrispondono esattamente è nullo l'errore di perpendicolarità, altrimenti dalla loro differenza si può arrivare a conoscere la grandezza di questo errore. Siccome però per questa determinazione è necessario conoscere anche l'errore d'orizzontalità dell'asse di rotazione, errore che può essere anche di qualche poco diverso nelle due posizioni del cannocchiale, così mediante il livello si determina per ciascuna di esse posizioni quest'errore seguendo il metodo antecedentemente esposto.

Finalmente quanto al terzo errore dello strumento, detto *errore dell'azimuto*, se ne determina la grandezza ancora dalle osservazioni della polare ne' suoi due passaggi superiore e inferiore al meridiano, come è detto di sopra; soltanto che per la determinazione di questo errore è necessario dapprima conoscere la grandezza degli altri due.

L'attrito del pernio sopra queste facce inclinate dei cuscinetti potrebbe col tempo determinare un notevole logoramento, donde deriverebbe un'alterazione nella posizione del cannocchiale. Per evitare questo logoramento si fa equilibrio ad una gran parte del peso del cannocchiale mediante i contrappesi D, D, ciascun

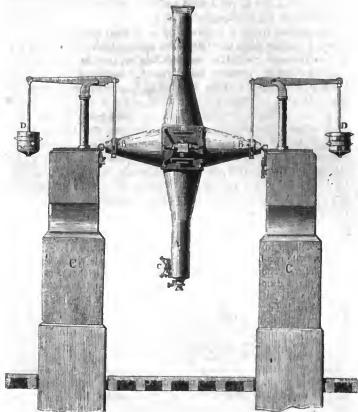



Fig. 150.

de'quali è sospeso all'estremità d'una leva orizzontale, che, potendo ruotare liberamente intorno al suo punto d'appoggio, esercita una forza di trazione dal basso all'alto sopra una verga di ferro verticale uncinata all'altra sua estremità: questa verga porta inferiormente una specie di collare fornito di ruotelle che

circonda l'asse B del cannocchiale, e in cui quest'asse ruota senza difficoltà scorrendo sulle ruotelle. Con questo mezzo le due verghe di ferro, che vanno a terminare alle leve e che sono situate una per parte dell'istrumento, sopportano una porzione del peso, e ne alleggeriscono così i pernii, i quali non s'appoggiano sui cuscinetti che in virtù della porzione del peso totale che non è equilibrata dai contrappesi D, D (*).

Due piccoli livelli a bolla d'aria *a*, *a* sono montati su di un asse *b b* portato dalla montatura del cannocchiale. Quest'asse *b b*, la cui direzione è esattamente parallela all'asse dello strumento, è bastantemente lontano dal corpo del cannocchiale perchè i livelli *a*, *a* possano ruotare intorno ad esso senza incontrare alcun ostacolo; in guisa che, qualunque sia la direzione che si dà al cannocchiale, questi due livelli possono essere ridotti l'uno al di sopra verticalmente dell'altro. Servono essi per così dire a verificare ad ogni istante l'orizzontalità dell'asse di rotazione dell'istrumento; ma a cagione della loro piccolezza non possono far pienamente le veci del gran livello che si sospende ai pernii (83); per cui è necessario ricorrere di tempo in tempo a questo gran livello, la cui sensibilità è maggiore e più precise ne sono le indicazioni.

(*) È d'uopo in oltre di osservare se i due pernii hanno una figura perfettamente regolare, vale a dire se sono esattamente cilindrici ed ambedue del medesimo diametro. Sospesovi a tal fine il livello, si fa ruotare lentamente il cannocchiale, e si osserva se durante questa rotazione le estremità della bolla mantengono sempre la medesima posizione: una simile operazione deve eseguirsi anche dopo l'inversione del cannocchiale. Siffatta verificazione poi conviene ripeterla di tempo in tempo, perchè, se anche l'artefice seppe lavorare esattamente i due pernii, pure può accadere che per gli attriti, sebbene molto diminuiti come è detto di sopra, la loro figura venga col tempo ad alterarsi.

Riesce più difficile determinare gli errori provenienti dalle variazioni della temperatura, specialmente nelle osservazioni del sole. A diminuirli, se non a toglierli affatto, si usano dei ripari che ombreggiano tanto lo strumento quanto i pilastri che lo sostengono, sicchè il solo obbiettivo trovasi esposto ai raggi solari. E siccome anche il telajo che porta i fili soggiace ad alterazioni per le variazioni di temperatura, giacchè i raggi solari illuminano al principio dell'osservazione il lembo occidentale di esso ed alla fine l'orientale, così si usa riparare esso pure mediante un anello che impedisca ai raggi solari di arrivarvi. In ogni osservazione è poi assai utile l'aprire un po' prima le imposte della fessura meridiana a fine di diminuire per quanto è possibile la differenza fra la temperatura interna della stanza d'osservazione e l'esterna.

Per le osservazioni di notte, che sono molto più numerose tra tutte quelle che si fanno col cannocchiale meridiano, è necessario illuminare i fili del reticolo, come abbiamo già detto (31). Perciò l'asse del cannocchiale è cavo per una metà della sua lunghezza, ed è lo stesso del pernio con cui termina: una lucerna od un becco a gas posto dirimpetto a quest'apertura del pernio manda della luce nell'interno e nella precisa direzione dell'asse; e questa luce, giunta fin entro il tubo del cannocchiale, v'incontra uno specchio inclinato che la riflette sul reticolo.

Un gran numero di stelle possono essere vedute di pieno giorno coll'ajuto dei cannocchiali, e possono per conseguenza essere osservate al cannocchiale meridiano. Ma queste osservazioni non sono tanto facili come quelle di notte, poichè non vedendosi ad occhio nudo la stella che si vuol osservare, non si può disporre il cannocchiale mediante la diretta visione. Così, volendosi osservare il passaggio di una stella al meridiano, si fa uso di un mezzo particolare per disporre il cannocchiale nell'opportuna direzione. Essendo nota preventivamente e con molt'approssimazione l'altezza al di sopra dell'orizzonte a cui la stella deve trovarsi all'istante del suo passaggio, basta dare al cannocchiale meridiano un'inclinazione eguale a quest'altezza angolare perchè la stella venga ad attraversare il campo del cannocchiale medesimo. A tale scopo un piccolo cerchio graduato *c* trovasi adattato al tubo del cannocchiale e vicinissimo all'oculare, ed un'alidada mobile intorno al centro del cerchio, porta un piccolo livello a bolla d'aria, mediante il quale quest'alidada si può rendere orizzontale. Se in qualunque posizione del cannocchiale si fa ruotare l'alidada fino a renderla orizzontale, l'indice che dessa porta corrisponde ad una tal divisione del cerchio, che da essa si può conoscere l'inclinazione del cannocchiale. Volendosi dunque dare al cannocchiale una particolare inclinazione, basta far ruotare l'alidada sul cerchio *c* finchè il suo indice coincida colla divisione del cerchio che corrisponde a questa inclinazione, poi muovere il cannocchiale intorno al suo asse, finchè il piccolo livello indichi l'orizzontalità dell'alidada medesima. Ricevuto che abbia il cannocchiale press'a poco l'inclinazione necessaria perchè si possa osservare il passaggio di una stella, siccome d'altra parte si conosce approssimatamente l'ora alla quale questo passaggio deve accadere, così se si pone l'occhio al cannocchiale alcuni istanti prima e si ha cura di variare di pochissimo, in più o in meno, l'inclinazione del cannocchiale, non

si tarda a vedere la stella, in guisa che l'osservazione del passaggio può farsi senza difficoltà (*).

Siccome devesi osservare successivamente il passaggio d'un astro dietro ciascuno dei cinque fili paralleli del reticolo, così l'oculare è reso mobile trasversalmente in una scanalatura adattata all'estremità del tubo del cannocchiale, entro la quale si fa scorrere l'oculare sia a mano sia col mezzo di una vite di richiamo, in guisa da condurlo in faccia alla porzione del reticolo ove devesi fare l'osservazione. Questa mobilità dell'oculare in un cannocchiale, il cui asse ottico deve conservare una posizione inalterabile, si appoggia a quanto abbiamo detto al num. 50, cioè, che la direzione dell'asse ottico del cannocchiale non dipende per nulla dalla posizione del suo oculare.

Non è necessario poter dirigere il cannocchiale meridiano, come quello dell'equatoriale, verso i diversi punti del cielo, poichè esso deve sempre rimanere nel meridiano; non lo si colloca quindi sotto un tetto girevole, come si fa per l'equatoriale (77). L'edificio in cui è collocato il cannocchiale meridiano deve soltanto presentare un'apertura lunga e poco larga, praticata nel tetto e nei muri di sud e di nord, assolutamente come se vi si fosse fatto passare per un largo tratto la sega nella direzione del piano meridiano. Quest'apertura, per la quale si può dirigere il cannocchiale senza ostacolo verso tutti i punti del cielo situati nel meridiano del luogo, non ha d'uopo d'altronde di rimanere sempre spalancata; alcune imposte, indipendenti le une dalle altre, servono a chiuderne le diverse parti, e ciascuna può essere aperta indipendentemente dalle altre con mezzi meccanici alla portata dell'osservatore (**).

(*) Frequentemente, invece del cerchio descritto, ad un'estremità dell'asse orizzontale dello strumento trovasi disposto un piccolo semicerchio graduato concentrico coll'asse di rotazione medesimo, sui quale muovesi un indice o alidada che ruota insieme col cannocchiale. Siccome questo semicerchio non serve che per la preventiva approssimata disposizione del cannocchiale, così la sua graduazione e il nonio dell'alidada non porgono che i minuti primi.

(**) Oltre tutto questo è bene notare che l'inversione dello strumento si opera con un apposito apparecchio (fig. 151), consistente in una specie di carretto alquanto alto e montato sopra ruotelle, mediante le quali si può far scorrere sopra guide di ferro incastrate nel pavimento e che passano fra i pilastri su cui s'appoggia il cannocchiale meridiano. Portato il carretto sotto l'asse di detto strumento, per mezzo della vite *v* s'innalzano le due forcelle *f*, *f*, le quali, incontrando le estremità dell'asse

85. **Cerchio murale.** — Il cerchio murale è l'istrumento destinato alla misura delle declinazioni degli astri. Esso consiste essenzialmente in un gran cerchio graduato A A A (fig. 152), munito d'un cannocchiale B B ed esattamente diretto nel piano meridiano: il cannocchiale è fissato al cerchio a seconda di un suo diametro, e può ruotare con esso intorno ad un asse perpendicolare al suo piano. Perciò il cerchio è montato all'estremità d'una specie di asse analogo ad una delle metà di quello che sopporta il cannocchiale meridiano: quest'asse attraversa un solidissimo muro contro cui s'applica il cerchio (da cui il nome di cerchio murale), e ruota entro cuscinetti solidamente fissati al muro. Alcune ruotelle C, C sono disposte in guisa da sopportare una parte del peso del cerchio e del cannocchiale, alleggerendone in conseguenza i cuscinetti, onde evitare il logoramento che potrebbe spostare lo strumento: tali ruotelle sono sospese con verghe di ferro D, D, tirate dal basso all'alto da contrappesi che non veggonsi nella figura, precisamente come abbiamo già mostrato pel cannocchiale meridiano (84).

medesimo, le sollevano e tolgono i pernii dai corrispondenti cuscinetti; si liberano allora i contrappesi D, D (fig. 150) dalle verghe di ferro verticali, e tutto lo strumento rimane sostenuto dal carretto. Fatto scorrere questo fuori dei pilastri, togliendo il bastone di ferro *b* (fig. 151), si produce facilmente un semigiro nel sistema delle due forcelle e dello strumento da esse sostenuto: rimesso poi lo stesso bastone di ferro *b*, e ritornato il carretto fra i due pilastri, con tutta facilità si possono di nuovo far discendere sui cuscinetti i due pernii, i quali manifestamente rimangono invertiti, e non si ha più che ristabilire la comunicazione dei due contrappesi colle verghe verticali di ferro, onde lo strumento non appoggi con tutto il suo peso sui cuscinetti medesimi.

Fig. 151.

Una morsetta E, fornita di una vite di pressione e di un'altra di richiamo, è destinata a fissare il cerchio in una qualunque po-

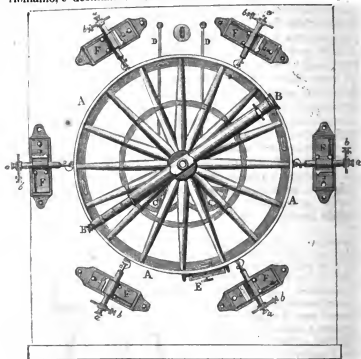



Fig. 152.

sizione per farlo quindi muovere lentamente: questa morsetta è analoga a quella che abbiamo descritta nel cerchio ripetitore (59), e si adopera per ridurre l'asse ottico del cannocchiale ad essere esattamente diretto verso l'astro che si osserva, dopo avergli dato approssimatamente la necessaria direzione mediante un movimento rapido impresso a tutto lo strumento. Il cerchio è graduato sul suo contorno; sei micrometri F, F vi sono distribuiti ad egual distanza per facilitare la lettura degli angoli di cui si fa ruotare il cerchio. Questi micrometri sono disposti e funzionano nella precisa maniera che abbiamo indicato al num. 56: *a*, *a* sono i loro oculari, *b*, *b* le teste graduate delle viti che fanno muovere i loro reticoli. Un solo di questi micrometri deve indicare il numero intiero di divisioni del cerchio di cui l'istru-

mento ha ruotato, e per questa ragione si può designarlo col nome di micrometro principale: quanto alla frazione di una divisione che deve essere aggiunta a questo numero intiero, essa è fornita dalla media delle indicazioni che danno i sei micrometri.

86. La declinazione d'un astro è la sua distanza angolare dal piano dell'equatore celeste (79), e si ottiene facilmente quando abbiasi trovata la sua distanza angolare dal polo boreale: se quest'ultima distanza è minore di 90 gradi, l'astro è situato nell'emisfero boreale, e la sua declinazione è eguale all'eccesso di 90 gradi sulla sua distanza dal polo; se al contrario la distanza dell'astro dal polo boreale è maggiore di 90 gradi, l'astro si trova nell'emisfero australe, e si ottiene la sua declinazione diminuendo di 90 gradi questa distanza polare. Pertanto la ricerca della declinazione d'un astro si fa dipendere da quella della distanza dell'astro medesimo dal polo boreale. Quanto qui diciamo del polo boreale dovrebbe dirsi evidentemente del polo australe, se quest'ultimo polo fosse al di sopra dell'orizzonte del luogo ove trovasi l'osservatore.

Supponiamo per un istante che l'asse ottico del cannocchiale del cerchio murale possa venir diretto esattamente a seconda dell'asse del mondo, essendo l'obbiettivo rivolto verso il polo boreale; il micrometro principale farà conoscere il numero di gradi, minuti e secondi della graduazione del cerchio che corrisponde a questa posizione del cannocchiale. Se in appresso si fa ruotare il cerchio insieme al cannocchiale, finchè il suo asse ottico si diriga ad un astro all'istante medesimo in cui questo passa pel meridiano, il micrometro principale indicherà un altro numero di gradi, minuti e secondi corrispondente a questa novella posizione del cannocchiale: è chiaro che la differenza fra questi due numeri rappresenterà la distanza dell'astro dal polo boreale.

Per giungere a questo risultato noi abbiamo ammesso che dapprima siasi diretto l'asse ottico del cannocchiale a seconda dell'asse del mondo; ma ciò non si può fare mediante una diretta osservazione, non essendo il polo un punto luminoso che si possa osservare col cannocchiale, come si osserva una stella: vi si supplisce facilmente col seguente processo. Una stella non soggetta a tramonto si può osservare al cerchio murale tanto nel suo passaggio superiore quanto nel suo passaggio inferiore al meridiano; in queste due posizioni la stella trovasi dall'una e dall'altra parte del polo ad egual distanza da questo punto; la media fra i due numeri di gradi, minuti e secondi della gra-

duazione del cerchio che porge il micrometro principale nelle due osservazioni della stella al suo passaggio superiore ed al suo passaggio inferiore è dunque lo stesso numero preciso che indicherebbe il micrometro principale quando si osservasse direttamente il polo.

87. La rifrazione atmosferica non ha alcuna influenza sulla misura delle ascensioni rette, giacchè essa non fa che sollevare ciascun astro nel piano verticale che lo contiene; ed all'istante in cui si vede un astro nel piano meridiano, esso vi si trova realmente. Ma non è lo stesso per la misura delle declinazioni: l'asse ottico del cannocchiale del cerchio murale non è diretto verso un astro all'istante in cui vedesi l'imagine di quest'astro coincidere colla croce dei fili del reticolo; ma è sempre diretto alquanto più in alto che non deve essere, a motivo della deviazione che l'atmosfera fa provare a' raggi luminosi; laonde si è obbligati di ricorrere alle tavole di rifrazione a fine di correggere i risultati somministrati dalla diretta osservazione, per ottener quelli che si sarebbero trovati qualora l'atmosfera non avesse deviati i raggi luminosi.

Quando si vuol osservare una stella E (fig. 153), l'asse ottico del cannocchiale non si deve dirigere secondo O E, ma secondo O e; convien dunque tener conto dell'angolo e O E compreso tra la direzione reale e la direzione apparente della stella: quest'angolo dev'essere aggiunto o sottratto al numero di gradi, minuti e secondi somministrati dal micrometro principale, a seconda che la graduazione del cerchio è fatta in un verso piuttosto che nell'altro per rispetto a quello secondo cui si produce la rifrazione atmosferica. Supponiamo, per esempio, che la graduazione sia diretta com'è indicata dalla freccia nella figura 153; è chiaro che il cannocchiale essendo diretto secondo O e, invece d'esserlo secondo O E, il micrometro m indicherà un numero di gradi, minuti e secondi troppo piccolo di tutta la quantità che corrisponde all'angolo e O E; per cui il risultato della diretta osservazione deve in questo caso essere aumentato del valore dell'angolo e O E: che se la graduazione del cerchio è nella medesima direzione, e si osserva una stella collocata dall'altra parte dello zenit (fig. 154), la correzione dovrà farsi in

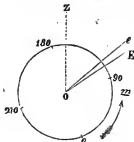



Fig. 153.

modo opposto; il numero somministrato dal micrometro sarà troppo grande di tutto l'angolo *e* O E, e dovrà diminuirsi del valore di quest'angolo.

L'angolo *e* O E, che è la quantità di cui il raggio proveniente da una stella è deviato dall'atmosfera della terra, è maggiore o minore secondo che la stella è più o meno lontana dallo zenit (58); se ne trova il valore nelle tavole di rifrazione, di cui precedentemente abbiam dato un estratto. Ma per far ciò è d'uopo conoscere tanto la distanza zenitale apparente *e* O Z della stella quanto la temperatura e la pressione dell'aria atmosferica. Un termometro ed un barometro collocati in vicinanza del cerchio murale servono a dare la temperatura e la pressione; quanto alla distanza zenitale apparente *e* O Z dell'astro osservato, la si deduce facilmente dalla differenza fra i numeri di gradi, minuti e secondi somministrati dal micrometro principale quando il cannocchiale è diretto secondo O *e* e quando lo è secondo O Z.

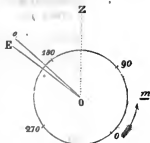



Fig. 154.

Per conoscere quest'ultimo numero, che corrisponde alla direzione verticale dell'asse ottico del cannocchiale, e che, una volta determinato, serve a dare tutte le correzioni occorrenti per la rifrazione, si fa dapprima un'osservazione mediante un orizzonte artificiale formato d'un bagno a mercurio. Quest'operazione consiste nel disporre il cannocchiale verticalmente, collocando l'oculare in alto e l'obbiettivo in basso, e nell'osservare così sul bagno di mercurio che si è posto immediatamente al di sotto; i fili del reticolo del cannocchiale, illuminati al modo che abbiamo detto al num. 31, si riflettono sulla superficie del mercurio, e se ne può osservare l'imagine coll'ajuto del cannocchiale medesimo. Movendo il cannocchiale in maniera che il reticolo venga a coincidere colla sua imagine veduta per riflessione sulle superficie del mercurio, è chiaro che si riduce il suo asse ottico esattamente verticale. Basta allora leggere il numero di gradi, minuti e secondi indicati dal micrometro principale; aumentando o diminuendo questo numero di 180 gradi, si ottiene ciò che il micrometro principale avrebbe somministrato qualora il cannocchiale fosse stato diretto verso lo zenit (*).

(*) Si hanno altri mezzi valevoli a determinare la divisione del cerchio corrispondente alla direzione verticale dell'asse ottico del cannocchiale,

Riassumendo adunque: mediante l'operazione preventiva fatta col bagno di mercurio si può ottenere il numero della graduazione del cerchio murale che corrisponde alla direzione verticale dell'asse ottico del cannocchiale; da questo numero, com-

e che si può denominare *zenit istrumentale*. Uno di questi è il *collimatore di Kater*, il quale consiste in un piccolo cannocchiale *c* (fig. 155, 156), munito nel suo foco della solita croce di fili, e fissato perpendicolarmente ad un disco *d* di ferro, forato nel mezzo e pel cui foro passa il tubo del cannocchiale medesimo. Questo disco è munito agli estremi di un suo diametro di due piccoli perni *p*, *p'*, e si pone a galleggiare sul mercurio collocato in una vaschetta annulare *m* (fig. 156) parimente di ferro, intro-

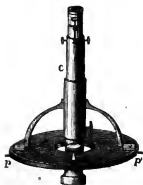
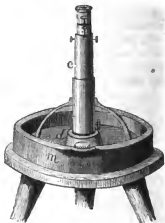



Fig. 155. Fig. 156.

ducendo i due perni *p*, *p'* nelle incavature di due sostegni innalzantisi dal fondo della vaschetta, in guisa che il tubo del cannocchiale attraversa la vaschetta assumendo una direzione assai prossimamente verticale coll'obbiettivo rivolto al basso. Disposto questo apparato al di sopra del circolo murale, si tolga l'oculare del cannocchiale e se ne illumini la croce dei fili; per cui i raggi partiti da essa escono dall'obbiettivo colla medesima direzione che avrebbero i raggi partiti da un punto lontanissimo, per esempio, quelli di una stella. Se pertanto si rivolga verso l'obbiettivo del collimatore l'obbiettivo del cannocchiale del circolo, per modo che anch'esso assuma una direzione quasi verticale, si potrà con questo osservare distintamente la illuminata croce dei fili come si osserva una stella. Muovansi il cannocchiale del circolo e la vite annessa al telajo dei fili del collimatore in guisa che le imagini delle croci dei fili dei due cannocchiali vengano esattamente a coincidere, per cui gli assi ottici dei

binato con quello che si ottiene quando il cannocchiale è diretto verso un astro, si può trovare il valore della rifrazione nelle tavole, e per conseguenza si riconduce il risultato dell'osservazione di quest'astro a quanto sarebbesi ottenuto se non

due cannocchiali acquistano la medesima direzione, e leggasi al micrometro principale la divisione del circolo nell'assunta posizione del suo cannocchiale. Ciò fatto, s'invertano le sospensioni dei due pernii p, p' del collimatore, si produca di nuovo la coincidenza delle imagini delle due croci dei fili, e quindi l'esatta corrispondenza degli assi ottici dei due cannocchiali, movendo però soltanto il cannocchiale del cerchio, e si legga di nuovo la divisione corrispondente alla nuova posizione del cannocchiale; la semisomma delle due letture porgerà evidentemente il richiesto zenit istrumentale; giacchè se l'asse ottico del collimatore non era esattamente verticale nelle sue due posizioni, presentava eguali deviazioni dall'una e dall'altra parte della verticale medesima. Qualora si trovasse più comodo, si potrebbe rivolgere in alto l'obbiettivo del collimatore; in tal caso il collimatore medesimo dovrebbe venir collocato al di sotto del cerchio murale, l'obbiettivo del cannocchiale di questo verrebbe ad essere rivolto verso al basso, e si determinerebbe il *nadir* dello strumento, da cui poi aggiungendo o levando 180° si otterrebbe ancora lo zenit. Si potrebbe infine disporre assai prossimamente orizzontale il cannocchiale galleggiante; ma in questo caso, per togliere l'errore proveniente dalla non esatta orizzontalità del suo asse ottico, bisognerebbe fare le due coincidenze, portando l'apparato alle due parti del circolo murale, cioè dalla parte di nord e dalla parte di sud; ed ancora dalla semisomma delle due fatte letture si otterrebbe lo zenit ovvero, il nadir istrumentale.

Invece dello zenit istrumentale si usa talvolta determinare la divisione del cerchio corrispondente alla direzione orizzontale del cannocchiale mediante osservazioni di imagini riflesse da un *orizzonte artificiale*, il quale consiste di solito in una vaschetta contenente del mercurio, la cui superficie, mentre si dispone esattamente orizzontale, è atta a riflettere assai bene la luce. Rivolto pertanto a tale scopo il cannocchiale ad osservare una stella s (fig. 157) mentre passa al meridiano, si fa lettura della posizione che viene data al

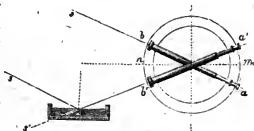



Fig. 157.

cannocchiale, e sia questa $a\ b$; immediatamente si rivolge il cannocchiale verso l'orizzonte artificiale o, osservando l'imagine s' della medesima stella prodotta per riflessione, e si fa lettura della nuova posizione $a'\ b'$

esistesse l'atmosfera: le osservazioni d'una medesima stella a' suoi due passaggi superiore ed inferiore, corrette alla maniera che si è detto, fanno conoscere il numero della graduazione del cerchio che corrisponde al caso in cui l'asse ottico del cannocchiale coincide coll'asse del mondo; combinando questo numero con quello che somministra l'osservazione d'un astro qualunque al suo passaggio al meridiano, e che va corretto egualmente dell'effetto della rifrazione, si ottiene la distanza dell'astro dal polo; in fine da questa distanza se ne deduce immediatamente la declinazione, come già abbiamo spiegato.

88. Il cerchio murale ha d'uopo, come il cannocchiale meridiano, d'essere collocato esattamente e di poter essere sottomesso a frequenti verificazioni, le quali valgano a provare che non subì spostamenti; collocazione e verificazioni per altro che si eseguiscono in tutt'altra maniera.

La faccia piana anteriore del cerchio è necessariamente perpendicolare all'asse di rotazione dello strumento, senza di che il moto di rotazione non si effettuerebbe con regolarità: la menoma deviazione del piano del cerchio cagionerebbe attriti irregolari, che manifesterebbero il difetto dello strumento. Si rende l'asse ottico del cannocchiale parallelo al piano del cerchio, e per conseguenza perpendicolare al suo asse di rotazione, ricorrendo a un cannocchiale di prova, siccome abbiamo precedentemente indicato (52): con ciò, durante il moto di rotazione dell'intiero strumento, l'asse ottico del suo cannocchiale descrive un piano perpendicolare al suo asse di rotazione. Non rimane più dunque che disporre i cuscinetti che sopportano l'asse, su cui il cerchio è montato in guisa che questo piano coincida col piano meridiano.

data al cannocchiale; supposto che la stella non abbia fatto il menomo movimento in quest'intervallo di tempo, è chiaro che le due direzioni $a\,b$, $a'\,b'$ del cannocchiale fanno angoli eguali colla orizzontale $m\,n$; pertanto dalla semisomma delle fatte letture si ottiene la divisione richiesta. È facile il capire come per tali osservazioni debbansi preferire le stelle dotate di lentissimo movimento, come sarebbe la stella polare, la quale rimane, come già si è veduto, lungo tempo nel campo del cannocchiale: anzi per maggior esattezza convien fare una terza osservazione rivolgendo di nuovo il cannocchiale direttamente alla stella, in modo che il tempo dell'osservazione dell'imagine riflessa trovisi assai prossimamente equidistante dai tempi delle due osservazioni dirette: prendesi allora la media tra la prima e la terza lettura, e la semisomma di questa media e della seconda lettura somministra molto esattamente la richiesta divisione del circolo.

Basta perciò paragonare il cerchio murale al cannocchiale meridiano. Questi due strumenti non possono giammai stare l'uno senza dell'altro; sono essi necessariamente associati in ogni osservatorio, e debbono essere anche collocati l'uno vicino all'altro. Una volta assicurati, co' mezzi già indicati, che l'asse ottico del cannocchiale meridiano descrive esattamente il piano meridiano, si fa in guisa che, qualunque sia la stella verso cui si dirige l'asse ottico del cannocchiale meridiano, quello del cannocchiale del cerchio murale possa dirigersi nel medesimo istante verso questa stella. Raggiunto un tal risultato, si è sicuri che l'asse ottico del cannocchiale del cerchio murale descrive un piano parallelo al piano descritto da quello del cannocchiale meridiano, e che per conseguenza, attesa la piccolissima distanza esistente fra i due strumenti, questo piano descritto dall'asse ottico del cannocchiale del cerchio murale è esattamente il piano meridiano del luogo ove il cerchio trovasi collocato.

La sala che contiene il cerchio murale deve presentare un'apertura lunga e poco larga, diretta nel piano meridiano, assolutamente come pel cannocchiale meridiano (*).

(*) Fino al principio del corrente secolo le osservazioni delle altezze meridiane venivano fatte mediante i *quadranti murali*, imaginati da Tycho Brahé; e ne occorrevano due in ogni osservatorio, l'uno rivolto verso il nord, l'altro verso il sud. Fu Ramsden che costrusse il primo gran cerchio intiero di 6 piedi ($1^m,9$) di diametro, reso celebre dalle osservazioni di Piazzi a Palermo; in appresso lo stesso Ramsden ne costrusse altri, e tutti i suoi circoli erano sostenuti fra due colonne metalliche, e ruotavano intorno ad un asse verticale, essendo d'altronde muniti d'altro circolo orizzontale, per cui si potevano con essi misurare tanto le distanze zenitali che gli azimuti. Trougton costruì nel 1812 il primo cerchio murale per l'osservatorio di Greenwich; e d'allora, perfezionati sempre più questi strumenti, vennero usati, si può dire, esclusivamente in Inghilterra ed in Francia per misurare le declinazioni degli astri, sebbene, come si è già detto, non possano lodevolmente servire per misurare le ascensioni rette, per cui non vengono mai scompagnati dai cannocchiale meridiano. Wollaston e Groombridge per altro cercarono rimediarvi mediante grandiosi strumenti costituiti da due circoli paralleli stabilmente collegati e muniti d'un robusto asse orizzontale, intorno al quale e fra mezzo ai due cerchi poteva ruotare il cannocchiale.

Un altro sistema di costruzione veniva intanto imaginato da Reichenbach di Monaco, e i riputatissimi suoi *circoli meridiani* erano ben presto imitati nelle altre grandiose officine germaniche, tanto che il loro uso diffondevasi per tutti i principali osservatorii di Germania e d'Italia. Con tali circoli, dotati del principio dell'*inversione*, si possono con molta facilità avere insieme tanto la misura delle ascensioni rette che delle decli-

89. **Uso dell'equatoriale.** — Tutte le volte che un astro può essere osservato all'istante del suo passaggio al meridiano si fa uso del cannocchiale meridiano e del cerchio murale per determinare la sua ascension retta e la sua declinazione. Ma accade alle

nazioni degli astri. Ad onta di tutto ciò, in Francia ed in Inghilterra si dà ancora la preferenza ai giganteschi circoli murali.

Il principio di costruzione di Reichenbach non si riduce ad altro che nell'avere ingrandito d'assai il piccolo cerchio, di cui il medesimo Roëmer aveva già fornito il cannocchiale meridiano (V. nota 1.ª pag. 182), suddividendone la periferia assai finamente, in modo che si potesse avere l'altezza dell'astro che si osserva entro al minuto secondo, e soddisfacendo in oltre alla condizione che il suo piano risultasse perpendicolare all'asse di rotazione. La figura 158 rappresenta il circolo meridiano di cui trovasi provveduto l'osservatorio di Milano, pregevolissimo lavoro di Stark, dell'Istituto politecnico di Vienna. Come nell'istrumento dei passaggi il cannocchiale A A è montato sull'asse solido B B′, che s'appoggia co' suoi estremi o pernii su due cuscinetti portati da robusti pilastri di granito C, C′, e può liberamente ruotare intorno all'asse dei due pernii B, B′. Ad un estremo B dell'asse medesimo trovansi due cerchi concentrici G G, i cui piani sono perpendicolari a quest'asse e come innestati l'uno nell'altro toccandosi per tutto il loro contorno, come abbiamo già veduto nei cerchi costituenti il teodolite (fig. 99 a pag. 100). Il più grande di esso o esterno ha segnate sul lembo le divisioni, ed è congiunto in modo invariabile coll'asse di rotazione, sicchè può liberamente ruotare insieme ad esso; il minore invece o interno, detto anche alidada, porta quattro nonii regolarmente distribuiti sul suo contorno e destinati a porgere ulteriori suddivisioni degli angoli. Nel circolo meridiano di Milano il diametro del lembo su cui sono segnate le divisioni è di 3 piedi ($0^m,97$); queste somministrano direttamente l'angolo di 3′ e ciascun nonio quello di 2″. Ai nonii potrebbero assai lodevolmente sostituirsi dei micrometri, quali vennero descritti a pagina 82 fig. 78, e che vedonsi applicati anche nel circolo murale. L'alidada nel suo centro è attraversata dall'asse che porta il cannocchiale, ed è invece fissata ad uno dei pilastri C, mediante una piastra d'ottone *b*, la quale, unita invariabilmente all'alidada medesima, viene pure a fissarsi per mezzo della vite *c*, col pezzo *a* infisso nel pilastro: ai raggi poi dell'alidada è attaccato un livello *d*, la cui bolla rende avvertiti dei minimi spostamenti che possono avvenire nell'alidada; spostamenti che si possono correggere riconducendo la bolla alla primitiva posizione per mezzo della vite *c*, ma de' quali conviene più spesso tener conto nei risultati dopo averne calcolata la grandezza.

Analoga disposizione vedesi all'altro estremo B′ dell'asse. Quivi al pezzo *a*′, infisso in modo stabile nel pilastro C′ trovasi del pari congiunto colla vite *c*′ la piastra metallica *b*′, la quale finisce superiormente con una specie di fascia avvolgente in *d*′ l'asse dello strumento: la piastra metallica *b*′ è attraversata nella sua lunghezza da una sottil verga pure di metallo, la quale, abbassata per mezzo della vite *c*, può stringere la

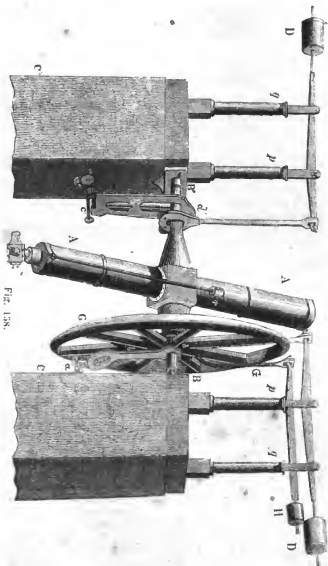



Fig. 138.

volte che ciò non sia possibile; così se trattasi d'un astro nuovo, od anche d'un astro che non vedesi che raramente, fa d'uopo approfittare di tutte le circostanze nelle quali è possibile determinare la sua posizione nel cielo. Può accadere che un astro

fascia intorno all'asse ed impedire la libera rotazione dell'istrumento; alzata invece, restituisce la libertà di questo movimento. Ciò serve a produrre l'esatta coincidenza dell'imagine dell'astro che si osserva col filo orizzontale del reticolo; il qual filo è troppo manifesto avere in questo strumento, come nel circolo murale, una grandissima importanza. Di fatti, ridotto l'astro nel campo del cannocchiale e in vicinanza al detto filo orizzontale, si stringe la fascia che avvolge l'asse in d', poscia mediante la vite c' si muove lentamente la piastra b', e con essa l'asse dello strumento finchè si vegga raggiunta la detta coincidenza: dalla lettura dei nonii del circolo G G si ha in allora la misura dell'altezza dell'astro; e veramente, come pel circolo murale, un solo dei nonii indica il numero intero di divisioni del cerchio corrispondente a quest'altezza, e dalla media delle quattro letture si ha quell'esatta frazione di una divisione che vi deve essere aggiunta.

Gli stessi congegni che abbiam veduto usati pel cannocchiale meridiano servono anche in questo strumento a diminuire gli attriti dei pernii sui cuscinetti mediante i contrappesi D, D; vi ha però un altro contrappeso H, aggiunto ad equilibrare in massima parte il peso dei due cerchi G G; e siccome questo contrappeso deve accompagnar sempre i cerchi nelle inversioni, così ciascuno dei due pilastri C, C' porta due colonnette. p, p servono per i contrappesi D, D del cannocchiale, q, q pel contrappeso H dei cerchi.

Anche l'illuminazione dei fili del reticolo per le osservazioni notturne e l'inversione dello strumento sono raggiunte nei modi detti pel cannocchiale meridiano. Siccome però nell'inversione il cannocchiale è sempre accompagnato dai due cerchi, così anche le due piastre b, b' vanno trasportate dall'uno all'altro pilastro.

Servendo il circolo meridiano alla determinazione tanto delle ascensioni rette che delle declinazioni degli astri, devonsi osservare per esso non solo tutte le norme che furono indicate per la collocazione del semplice cannocchiale meridiano e per la determinazione degli errori derivanti dalla collocazione medesima e dalla sua costruzione, ma in oltre devonsi verificare colla massima cura le condizioni cui esso deve soddisfare per ottenere esattissime anche le declinazioni. Siccome per altro i due cerchi G G vengono disposti dall'artefice coi loro piani esattamente perpendicolari all'asse di rotazione, come già ne occorse di rimarcare riguardo al circolo murale, così una volta che siasi raggiunta la precisa collocazione dello strumento quale semplice cannocchiale meridiano, anche il piano dei due cerchi trovasi situato parallelamente al medesimo piano meridiano.

Cogli stessi processi che furono indicati pel circolo murale si possono pure determinare il polo e lo zenit istrumentali; ma, ricorrendo all'inversione dello strumento, questi punti si possono determinare colle dirette

trovisi tanto vicino al sole che, all'istante del suo passaggio al meridiano, per la viva luce di questo non possa essere scôrto; ovvero, che in questo istante vengano delle nubi ad interporsi tra l'astro e l'osservatore: in questo caso bisogna osservare

osservazioni di stelle, fra le quali è sempre preferibile la polare. Infatti dalle osservazioni di una stella in due suoi passaggi al meridiano, nelle due posizioni del circolo, si otterranno in esso due divisioni egualmente distanti dallo *zenit istrumentale;* la loro semi-somma darà pertanto questo punto. Osservata poi una stella non soggetta a tramonto ne' suoi due passaggi al meridiano, il superiore, cioè, e l'inferiore, conservando il cerchio la medesima posizione, dalla semi-somma delle divisioni del cerchio corrispondenti a questo due osservazioni, e corrette dalla rifrazione, si ottiene il *polo istrumentale;* il qual punto dev'essere manifestamente determinato in ognuna delle due posizioni del cerchio. Approfittando adunque della polare si può procedere in questa maniera per determinare insieme lo zenit ed il polo istrumentali, ritenuto che già si conosca con bastante approssimazione l'altezza del polo, come ha sempre luogo in un osservatorio. Si osservino i due passaggi superiore ed inferiore della polare in una posizione del cerchio, e dalla semi-somma delle corrispondenti divisioni del cerchio, corrette dagli effetti della rifrazione, si avrà un *polo istrumentale:* invertito lo strumento, si osservino di nuovo i due passaggi della polare, e si determini l'altro *polo istrumentale;* dalla semi-somma dei due poli strumentali si avrà lo *zenit istrumentale.*

Rimane ora a dire di un'altra causa d'errore che s'incontra in tutti gli strumenti destinati a misurare le distanze zenitali o le altezze sull'orizzonte, e ne' quali il cannocchiale non è per tutta la sua lunghezza fissato al piano del cerchio come ha luogo nel circolo murale. Questa causa sta nell'azione della gravità, la quale tende a piegare le due parti in cui il tubo del cannocchiale viene come distinto dall'asse di rotazione, incurvandone l'asse ottico tanto che le altezze e le distanze zenitali risultanti dalla lettura delle divisioni del cerchio non corrispondano mai alle apparenti dell'astro. Siffatto errore, denominato della *flessione del cannocchiale*, non ha alcuna influenza nel cannocchiale meridiano, giacchè per esso nulla importa che l'asse ottico sia piuttosto rettilineo che incurvato, purchè rimanga sempre esattamente compreso nel piano meridiano. Negli strumenti in cui un tale errore può avere influenza sui risultati delle osservazioni, usano gli artefici correggerlo in gran parte, se non totalmente, munendo il cannocchiale di contrappesi contrarianti l'azione della gravità; tale è il contrappeso *r* per lo strumento in discorso, essendovene anche un altro dalla parte opposta del tubo. È però sempre necessario verificare se effettivamente tale errore è del tutto in questa maniera corretto, e in caso contrario determinarne la grandezza. L'errore della flessione del cannocchiale non è per altro lo stesso per tutte le sue posizioni: è evidente essere desso *massimo* quando il cannocchiale è orizzontale, diminuire mano mano che il cannocchiale devia dall'orizzontalità, ed essere affatto *nullo* quando il cannocchiale trovasi in dire-

l'astro fuori del meridiano nei momenti in cui lo si può vedere senza difficoltà; ed a queste osservazioni serve l'equatoriale (76).

L'equatoriale, composto di un cerchio parallelo al piano dell'equatore celeste e d'un altro che può farsi coincidere con un

zione verticale: determinato però il *massimo errore* della flessione, si ha una norma semplicissima per valutarne la grandezza corrispondente alle diverse posizioni del cannocchiale; come pure determinata la grandezza dell'errore per una data inclinazione del cannocchiale, se ne ottiene facilmente il massimo suo valore corrispondente all'orizzontalità del cannocchiale, e quindi anche le diverse grandezze per tutte le altre direzioni che il cannocchiale medesimo può assumere.

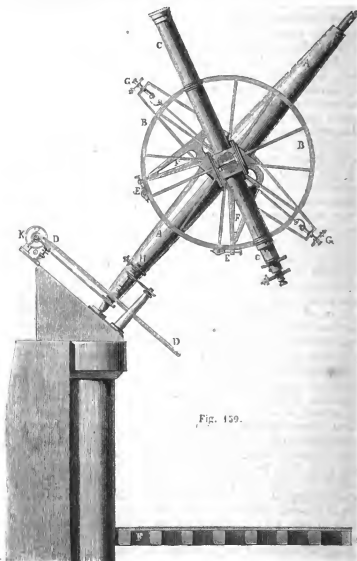
Il metodo più sopra esposto, col quale si determina la divisione del cerchio corrispondente alla direzione orizzontale del cannocchiale, per mezzo di osservazioni fatte coll'*orizzonte artificiale* (fig. 157, pag. 189), vale a far conoscere l'errore massimo della flessione del cannocchiale: siffatte determinazioni per altro debbonsi eseguire nei due passaggi al meridiano di una stella che non tramonta, per esempio la polare, ed in ambedue le posizioni del cerchio, e combinare insieme opportunamente i quattro risultati. Ma il seguente processo, insegnato da Bessel, può servire anche meglio. Dispongansi da una parte e dall'altra del circolo murale, cioè dalla parte di nord e dalla parte di sud, due altri cannocchiali volgentisi l'un contro l'altro gli obbiettivi, all'altezza medesima dell'asse del circolo, e si riducano gli assi ottici di quei due cannocchiali ad essere esattamente orizzontali e nella medesima direzione, il che si otterrà facilmente illuminando la croce dei fili dell'uno ed osservandola quindi coll'altro, e poscia illuminando la croce dei fili del secondo ed osservandola col primo, e movendo in modo opportuno i due reticoli, tanto che in ambedue le osservazioni veggansi coincidere le due croci dei fili. E perchè il frapposto cannocchiale del circolo non riesca d'impedimento a tali osservazioni, se ne levino l'oculare e l'obbiettivo, e lo si disponga pure orizzontale; in tal modo le visuali potranno passare liberamente per tutta la lunghezza del suo tubo. Rimessi poi di nuovo l'oculare e l'obbiettivo, si osservi con esso la croce dei fili di uno di quei due cannocchiali, per esempio di quello situato dalla parte di nord, si produca la coincidenza delle due croci dei fili, e si legga la divisione del circolo corrispondente a questa sua posizione; lo si rivolga quindi ad osservare l'altro cannocchiale situato dalla parte di sud, e producasi anche con questo la coincidenza delle due croci dei fili, poi si legga la divisione del cerchio corrispondente a questa seconda posizione: essendo nulla la flessione, la differenza fra le due fatte letture è di 180°; in caso contrario è tanto l'errore massimo della flessione quanto quella differenza si scosta dal 180°.

Finalmente altre cause d'errore possono incontrarsi nella non perfetta concentricità dei due circoli, come pure nell'ellitticità che possono assumere perdendo, a cagione del loro peso, la perfetta figura circolare. Tali errori vengono da sè medesimi compensati mediante le combinazioni delle letture de' nonii o dei micrometri fra loro diametralmente opposti.

qualunque cerchio di declinazione della sfera, sembra eminentemente proprio alla misura delle ascensioni rette e delle declinazioni degli astri; e non è difficile l'imaginare quali disposizioni occorrano perchè possa servire a questa misura. Ciò si otterrebbe infatti qualora il suo asse di rotazione potesse venir diretto esattamente ed invariabilmente a seconda dell' asse del mondo, e non vi fosse la rifrazione atmosferica. Ma da una parte le operazioni necessarie per ottenere che il suo asse trovisi diretto a seconda dell'asse del mondo, ovvero per verificare che questa direzione sia esattamente raggiunta, sono lunghissime e molto meno semplici di quelle che abbiamo indicate pel cannocchiale meridiano e pel cerchio murale; d'altra parte le correzioni da applicarsi ai risultati dell'osservazione, a cagione della rifrazione atmosferica, sono molto più complicate che non nel caso dei due strumenti meridiani. Così non si usa mai l'equatoriale per la diretta misura delle ascensioni rette e delle declinazioni; ma se ne fa uso unicamente per trovare le differenze delle ascensioni rette e delle declinazioni di due astri vicini, e anche questo soltanto nelle circostanze particolari or fa un momento indicate. Ed ecco come si procede.

Facendo muovere il cannocchiale, insieme col cerchio B B (fig. 159), intorno al centro di questo cerchio e nel suo piano, è chiaro che l'asse ottico descriverà un cerchio di declinazione della sfera celeste: descriverebbe il piano meridiano del luogo in cui trovasi collocato l'istrumento qualora il piano del cerchio B B fosse verticale in conseguenza di una preventiva rotazione intorno all'asse A A. Si comprende pertanto che, coll' impedire qualunque rotazione dell'istrumento intorno all'asse A A, e facendo muovere il cannocchiale nel piano del cerchio che l'accompagna, questo cannocchiale potrà far le veci del cannocchiale meridiano, qualunque sia la direzione data dapprima al piano del cerchio B B: gli astri passeranno successivamente, ciascuno alla sua volta, nel piano che descrive l'asse ottico del cannocchiale, e la differenza fra i tempi dei passaggi in questo piano di due di essi farà conoscere la differenza fra le loro ascensioni rette. Così, per determinare la differenza fra le ascensioni rette di due astri vicini, non si avrà che a far ruotare l'equatoriale intorno al suo asse A A, in guisa che il piano del cerchio B B passi vicino a questi due astri ed all'occidente di ciascuno di essi; poi si aspetterà che questi due astri passino per questo piano, in virtù del moto diurno, ed all'istante di ciascun passaggio si noterà il tempo indicato dall'orologio sidereo che

accompagna l'equatoriale. Quanto alla differenza tra le declinazioni dei due astri, egli è chiaro che sarà data dalla stessa

Fig. 159.

osservazione; giacchè l'asse ottico del cannocchiale, essendo stato diretto successivamente verso ciascuno dei due astri agl'istanti dei loro passaggi pel piano descritto dall'asse ottico medesimo, ha dovuto ruotare in questo piano d'un angolo precisamente eguale alla differenza delle loro declinazioni: mediante i micrometri G, G se ne può quindi avere il valore.

Non si opera per altro esattamente in questa maniera quando i due astri sono tanto vicini l'uno all'altro che possono ambedue attraversare il campo del cannocchiale senza che questo venga smosso. In tal caso si lascia immobile il cannocchiale nella posizione che aveva all'istante del passaggio del primo dei due astri, e si attende il passaggio del secondo dietro il filo del reticolo che corrisponde al filo meridiano dell'istrumento dei passaggi: la distanza dei punti nei quali questo filo è attraversato dai due astri fa conoscere la differenza tra le loro declinazioni. Per poter misurare con facilità questa distanza si adatta al reticolo del cannocchiale un filo trasversale, che si fa muovere parallelamente a sè medesimo mediante una vite a testa graduata, come nei micrometri (36), la qual vite a testa graduata, della stessa forma di quelle dei micrometri G, G, vedesi distintamente nella figura, vicinissima all'oculare del cannocchiale.

Quando due astri sono fra loro vicinissimi, trovasi esattamente la differenza tra le loro ascensioni rette e quella tra le loro declinazioni, di conformità a quanto abbiam detto, anche nel caso che l'asse A A non abbia la precisa direzione dell'asse del mondo: gli errori che ne risulterebbero per le ascensioni rette e per le declinazioni di questi astri, misurate separatamente mediante l'equatoriale, sono press'a poco gli stessi per ambedue gli astri a cagione della grande loro vicinanza; le differenze fra le loro ascensioni rette e le loro declinazioni ne sono quindi esenti. Per la stessa ragione la rifrazione atmosferica non ha che un'influenza insignificante su queste differenze, tale da poterla trascurare affatto.

Ora si comprende facilmente come si debba far uso dell'equatoriale. Volendosi determinare la posizione occupata da un astro nel cielo, e non potendosi osservare quest'astro all'istante del suo passaggio al meridiano, lo si osserva in un altro istante all'equatoriale, paragonandolo ad una stella vicina, della quale si conoscono già l'ascensione retta e la declinazione: coll'equatoriale potendosi trovare le differenze tra le ascensioni rette e le declinazioni dell'astro e della stella, si deducono immediatamente

l'ascensione retta e la declinazione di quest'astro, con altrettanta esattezza come se fossero state determinate mediante gl'istrumenti meridiani.

90. Cataloghi di stelle. — Tutte le stelle che furono osservate trovansi inscritte nelle raccolte cui si dà il nome di *Cataloghi di stelle*. Allato della designazione ordinaria di ciascuna stella, sia mediante un nome particolare, sia mediante una lettera od un numero (65), questi cataloghi contengono, in colonne speciali, l'ascensione retta e la declinazione della stella, e servono in molte circostanze; per esempio, a far conoscere l'ascensione retta e la declinazione della stella colla quale si è confrontato un astro vicino nell'osservazione di quest'astro fatta all'equatoriale (89).

La designazione delle stelle mediante un nome speciale o mediante una lettera è sufficiente per le stelle principali, ma non per le piccole stelle, il cui numero è tanto grande da poterle confondere facilmente le une colle altre. Così, volendosi indicare con precisione una di queste piccole stelle, si ha cura di designarla mediante la sua ascensione retta e la sua declinazione, la cui cognizione non può lasciar dubbio sulla stella di cui s'intende parlare. Anche queste indicazioni vengono fornite dai cataloghi, e frequentemente, per brevità, si dà soltanto il numero che la stella porta nel catalogo di cui si fa uso, numero che non serve ad altro che a far ritrovare l'ascensione retta e la declinazione che l'accompagnano.

91. Globi celesti. — Abbiam detto (71) poterci rappresentare il moto diurno delle stelle ricorrendo a un globo sul quale siansi figurate le principali costellazioni. Siffatto globo è utile in molte altre circostanze, poichè si può con esso abbracciare d'un colpo d'occhio l'insieme della sfera celeste, e studiarvi facilmente gli spostamenti che certi astri provano fra le stelle.

Fig. 160.

Ipparco da Rodi, che viveva nel secolo II avanti Gesù Cristo, fu il primo a costruire simili globi col seguente processo. Misurata la distanza angolare di due stelle, servendosi d'un cerchio munito di diottre a traguardi, rappresentò queste due stelle mediante due punti A, B, presi arbitrariamente sul globo (fig. 160), colla sola condizione per altro che l'ampiezza dell'arco A B fosse eguale alla distanza an-

golare delle due stelle. Misurata in appresso la distanza della prima stella da una terza, considerato il punto A come polo, e con un'apertura di compasso corrispondente a questa distanza, descrisse un arco di cerchio *m n* su cui doveva necessariamente trovarsi il punto rappresentante la terza stella: misurata quindi la distanza della seconda stella dalla terza, potè tracciare un secondo arco di cerchio *p q*, considerando il punto B come polo, e su quest'arco doveva egualmente trovarsi il punto rappresentante la terza stella; per cui questa doveva trovarsi nel punto C d'incontro dei due archi di cerchio *m n*, *p q*. Continuando alla stessa maniera, mediante il confronto di ogni nuova stella con due di quelle già raffigurate sul globo, Ipparco giunse a rappresentare su questo globo le principali stelle delle diverse costellazioni che poteva osservare.

Assai più facilmente e con maggior esattezza si costruisce un globo celeste ricorrendo alle ascensioni rette ed alle declinazioni delle stelle. Tracciato sul globo un circolo massimo E E (fig. 161), destinato a rappresentare l'equatore celeste, e segnati i due poli P, Q di questo cerchio, si prende arbitrariamente sul cerchio E E un punto O siccome l'origine delle ascensioni rette. Per segnare un astro qualunque su questo globo basta portare sull'equatore un arco O M eguale alla sua ascensione retta, tracciarvi il cerchio massimo P M Q, poi prendere su questo cerchio, a partire dall'equatore e nell'opportuna direzione, un arco M A eguale alla sua declinazione: il punto A rappresenta l'astro considerato.

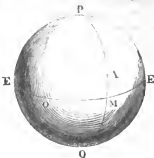



Fig. 161.

Non è inutile l'osservare che le costellazioni viste sopra un globo non devono presentarsi come sono nel cielo. L'osservatore si ritiene sempre come situato nel centro della sfera celeste; se questa sfera, la quale non è che ideale (63), esistesse realmente nello spazio, esso vedrebbe le costellazioni standovi internamente. Ma non è lo stesso de' globi celesti che l'osservatore vede dall'esterno; le costellazioni debbono apparire rovesciate, e si può dire ch'esse sono vedute *inversamente*. Ma il cambiamento d'aspetto che ne risulta per le costellazioni non ha alcuna importanza; le persone che s'occupano d'astronomia ben

presto vi si abituano, e fanno uso de'globi con una grande facilità, come se fosse possibile portarsi nell'interno di essi per osservare quanto è tracciato sulla loro superficie.

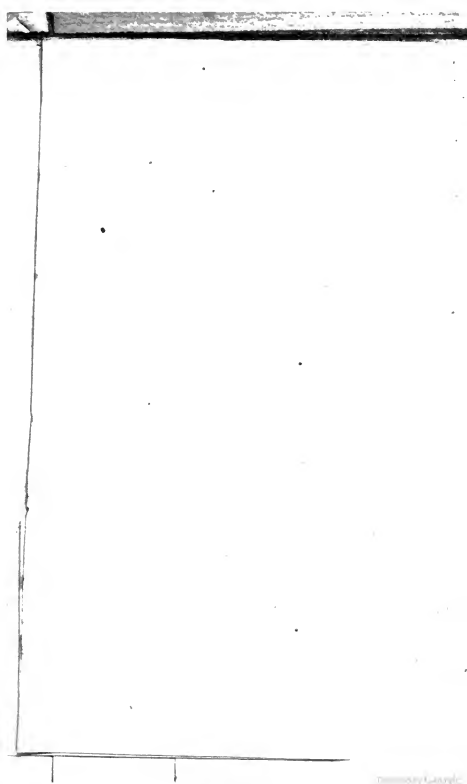
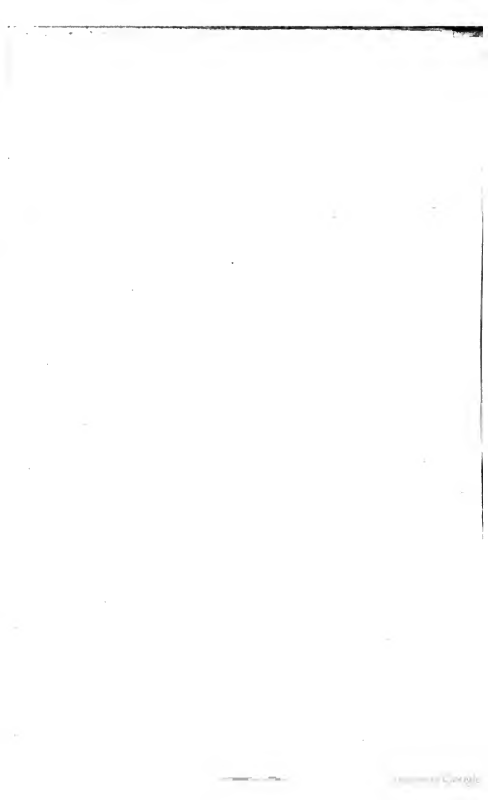
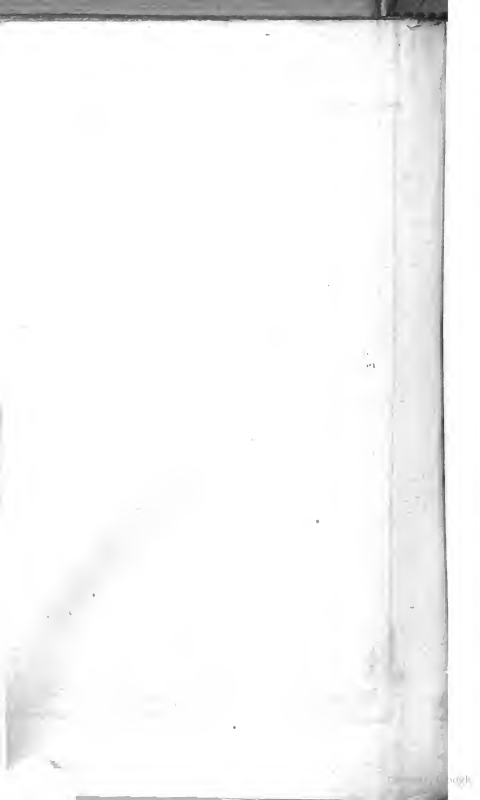
I globi celesti sono comunemente montati alla maniera indicata dalla fig. 135 (pag. 154), in guisa che può darsi loro ad arbitrio il moto di rotazione che rappresenta il moto diurno della sfera celeste. Tale possibilità di rappresentare il moto diurno è utile in molte circostanze, come vedremo più tardi.

92. **Carte celesti.** — I globi celesti sono eccellenti per istudiare la figura delle costellazioni, come anche i diversi fenomeni che avvengono nel cielo; ma il loro uso è poco comodo a cagione del posto che occupano e della difficoltà di muoverli quando le loro dimensioni sieno alquanto grandi. S'imaginarono perciò le *carte celesti* destinate a rappresentare porzioni più o meno estese della sfera.

Qualunque sia il processo impiegato nella costruzione delle carte, esse non possono giammai somministrare intorno alla figura delle costellazioni idee altrettanto esatte come i globi. Ciò deriva dal non potersi nessuna porzione di superficie sferica svolgere in una superficie piana senza subire deformazione, vale a dire senza che alcune dimensioni s'ingrandiscano ed altre s'impiccoliscano; per questo convien guardarsi sempre dagli errori che si potrebbero commettere qualora si considerasse una carta come la rappresentazione perfettamente esatta d'una porzione della sfera celeste.

Veggonsi qui dicontro due carte celesti, l'una delle quali (tavola I) (*) rappresenta l'intiero emisfero boreale, e l'altra (tav. II) lo sviluppo d'una zona che stendesi lungo tutto l'equatore celeste, ad una distanza di 30 gradi dall'una e dall'altra parte di questo circolo massimo.

Per costruire la prima di queste due carte si è cominciato dal tracciare la circonferenza di circolo E E (fig. 162), che ne costituisce il contorno e rappresenta l'equatore, la quale si è divisa in 360 parti eguali destinate a rappresentare i gradi d'ascensione retta. Il centro P di questa circonferenza di cerchio venne preso a rappresentare il polo boreale, e i raggi che ne partono in tutte le direzioni rappresentano i circoli di declinazione. Ciascuno di questi raggi è diviso in 90 parti eguali, cor-

(*) Invece di dare in questa tavola la sola porzione di emisfero boreale compresa tra il polo e il parallelo di 30 gradi di declinazione, come nell'originale francese, abbiamo creduto più opportuno porgere l'intiero emisfero boreale.

ICEMBRE
La Capra
Toro
Aldebaran
Orione
Rigel
Lepre
lomba
CEMBRE

rispondenti ai 90 gradi di declinazione compresi tra il polo e l'equatore che serve di limite alla carta. Per situare sulla carta una qualunque delle stelle appartenenti all'emisfero boreale si è portato sull'equatore E E, a partire da un punto O preso ad arbitrio, un arco O M di tanti gradi quanti sono contenuti nell'ascensione retta della stella; tracciato quindi il raggio P M che passa per l'estremità di quest'arco, si è portato su questo raggio una lunghezza M A eguale alla declinazione della stella, vale a dire una lunghezza contenente tante delle divisioni del raggio P M (diviso in 90 parti eguali) quanti gradi sono contenuti in questa declinazione; nel punto A così ottenuto si trova la stella di cui si tratta. Comprendesi facilmente come le diverse parti dell'emisfero che rappresenta la carta sono deformate con questa costruzione: se l'equatore E E, che gli serve di limite, ha le stesse dimensioni che avrebbe sopra un globo, quella metà di meridiano che si estende da un punto dell'equatore al punto diametralmente opposto passando pel polo è necessariamente più corta sulla carta che non sul globo; poichè questa porzione di meridiano, rappresentata sulla carta da un diametro del cerchio E E, è una semi-periferia di cerchio massimo, alla quale venne sostituito il diametro corrispondente.

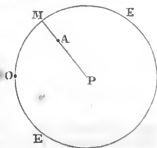



Fig. 162.

Per costruire la seconda carta si è imaginato che la zona *m n p q* (fig. 163) fosse distaccata dalla superficie della sfera, aperta a seconda di un cerchio di declinazione e sviluppata in guisa da stendersi sopra una superficie piana. Ma questo sviluppo non è possibile senza ingrandire le dimensioni della zona nel verso dei paralleli estremi *m n*, *p q*; poichè questi paralleli, che sulla sfera sono meno lunghi dell'equatore, sono sulla carta rappresentati da linee rette della stessa lunghezza di quella che corrisponde a quest'ultimo cerchio. L'equatore è rappresentato sopra

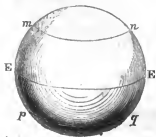



Fig. 163.

questa carta dalla retta O E (fig. 164), di lunghezza arbitraria, la quale venne divisa in 360 parti eguali, corrispondenti ai

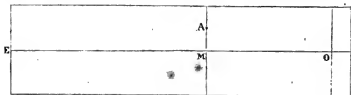



Fig. 164.

gradi di ascensione retta: le diverse rette che si possono imaginare condotte perpendicolarmente alla prima corrispondono ai cerchi di declinazione; i gradi di declinazione occupano sopra ciascuna di esse lunghezze eguali a quelle delle divisioni della retta O E. Per situare una stella qualunque sopra questa carta si è presa sulla retta O E, a partire dal punto O, che rappresenta l'origine delle ascensioni rette, una lunghezza O M contenente tante divisioni dell'equatore O E quanti sono i gradi dell'ascensione retta della stella; poscia, condotta pel punto M la perpendicolare alla retta O E, si è portato su questa perpendicolare una lunghezza M A costituita da tante di queste divisioni medesime quanti sono i gradi della declinazione della stella: questa lunghezza M A è stata d'altra parte portata sopra o sotto all'equatore O E, a seconda che la stella era nell'emisfero boreale ovvero nell'emisfero australe, e si è situata la stella nel punto A così trovato. Vedesi che la carta (tav. II) è stata alquanto prolungata a destra del cerchio di declinazione ove dovea terminare, onde riprodurre alcune stelle che trovansi alla sua estremità a sinistra; tale prolungamento ha per oggetto di far vedere d'un solo colpo d'occhio le costellazioni attraversate dal cerchio di declinazione secondo cui la zona è stata aperta, costellazioni che altrimenti sarebbero state separate in due porzioni, situate le une all'estremità a destra della carta, le altre alla sua estremità a sinistra.

FIGURA DELLA TERRA

93. Abbiamo già veduto (53 e 54) per quali considerazioni fummo condotti ad ammettere che la terra presenta una forma press'a poco sferica. Dalla cognizione del moto diurno possiamo spingerci più oltre; l'osservazione degli astri, che ci servono

come punti fissi, congiunta alla misura di diverse lunghezze sulla superficie della terra, ci porgerà i mezzi per farci un'idea netta della forma che presenta realmente nel suo insieme questa superficie.

Non dovremo per altro in tutto quanto segue perdere di vista che ciò che noi chiamiamo superficie della terra altro non è che la superficie dei mari prolungata dovunque attraverso i continenti, di conformità alla definizione già data al num. 54. Ed è infatti questo prolungamento della superficie dei mari che ci deve porgere la più conveniente idea complessiva sulla forma che affetta la superficie della terra. L'elevazione dei continenti al di sopra di questa superficie dei mari è in generale piccolissima, avuto riguardo alle dimensioni della terra, e non dà luogo che ad asperità affatto insignificanti, delle quali non devesi tener conto quando trattasi esclusivamente della ricerca della forma generale della terra (*).

Per il risultato ottenuto colle semplici osservazioni di cui abbiamo parlato precedentemente (53 e 54) era naturale ammettere a prima giunta essere sferica la terra, che è quanto si fece dalla più remota antichità; e tale opinione si mantenne fino all'epoca di Huyghens e Newton (XVII secolo). Non fu che dopo le indicazioni di questi due uomini di genio che venne più addentro esaminata la quistione, e che si riconobbe non essere la terra esattamente sferica. Prima di spiegare quali mezzi vennero impiegati a ciò, è indispensabile di far conoscere i circoli che si erano imaginati sulla terra, e che cosa intendevasi per *longitudine* e *latitudine geografiche*, nell'ipotesi per tanto tempo adottata della sfericità della terra.

94. Cerchi della sfera terrestre. — Per analogia a quanto si era fatto per la sfera celeste (75), s'imaginò sulla superficie della terra una serie di circoli, destinati a facilitare l'indicazione della posizione de' diversi luoghi che vi sono situati.

Una retta parallela all'asse di rotazione della sfera celeste, condotta pel centro della sfera terrestre, incontra la superficie di quest'ultima sfera in due punti, che si chiamano i suoi *poli;* i quali, essendo rivolti rispettivamente verso i due poli della sfera celeste, assumono le medesime denominazioni speciali di questi ultimi: il *polo boreale* della terra è quello che corrisponde al polo boreale del cielo, come il *polo australe* della terra corrisponde al polo australe del cielo.

(*) Vedi la nota a pagina 115.

Un piano condotto pel centro della terra, perpendicolarmente alla linea dei poli, taglia la sua superficie secondo un circolo massimo, che dicesi l'*equatore terrestre.*

Qualunque piano perpendicolare alla linea dei poli che taglia la terra senza passare pel suo centro determina sulla sua superficie un circolo minore, cui si dà il nome di *parallelo terrestre.*

Qualunque piano condotto per la linea dei poli taglia la superficie della terra secondo la circonferenza d'un circolo massimo; i diversi circoli ottenuti in questa maniera, analoghi ai circoli di declinazione della sfera celeste, diconsi i *meridiani.* È facile il comprendere perchè il nome di meridiano, già precedentemente attribuito al piano condotto per la verticale d'un luogo e per l'asse del mondo, trovisi egualmente applicato a ciascuno dei circoli massimi della terra che passano pei due poli. Per le leggi dell'equilibrio dei liquidi la verticale d'un luogo (41) è necessariamente perpendicolare alla superficie dei mari, al punto ove essa incontra questa superficie; se dunque si ammette che la superficie dei mari è sferica, la verticale dev'essere diretta secondo uno dei raggi della sfera; da cui risulta che il piano condotto per la verticale e l'asse del mondo taglia precisamente la sfera terrestre secondo un circolo massimo passante pe' suoi due poli. Così nell'ipotesi della sfericità della terra, il piano d'uno dei cerchi che diconsi meridiani coincide col piano meridiano d'uno qualunque dei luoghi della terra situati su questo circolo (*).

95. **Longitudine e latitudine geografiche.** — Abbiamo veduto come si determina la posizione d'un astro sulla sfera celeste mediante la sua ascensione retta e la sua declinazione (79): affatto analogamente si determina la posizione d'un luogo sulla terra ricorrendo ai cerchi dei quali abbiamo parlato. Sia A (fig. 165) il luogo di cui si tratta; se si conduce il meridiano P A Q, la

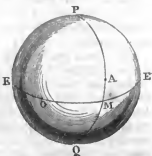
(*) Attesa l'enorme distanza delle stelle dalla terra, tale che questa si può considerare come un punto nello spazio (73), tutte le rette parallele all'asse del mondo e condotte pei diversi punti della superficie terrestre passano pei poli celesti; come pure tutti i piani perpendicolari all'asse del mondo si confondono coll'equatore celeste. Ciò non pertanto i poli, l'equatore e i diversi paralleli terrestri corrispondono ai poli, all'equatore e ai diversi paralleli celesti; e tali corrispondenze si desumono dalle verticali, al modo che dall'autore è fatto pei meridiani soltanto. Così i poli terrestri si definiscono meglio *quei punti le cui verticali passano pei poli celesti:* l'equatore terrestre è costituito da tutti quei punti pei quali le verticali trovansi nell'equatore celeste, e i punti d'ogni parallelo terrestre hanno le verticali passanti per l'analogo parallelo celeste.

distanza del punto M, in cui taglia l'equatore E E, da un punto fisso O preso su questo equatore, dicesi la *longitudine geografica*, o semplicemente la *longitudine* del punto A; la distanza A M del punto A dall'equatore contata sul meridiano P A Q dicesi la sua *latitudine geografica*, o semplicemente la sua *latitudine*. Queste distanze si contano in gradi, minuti e secondi, come le ascensioni rette e le declinazioni.

Fig. 165.

La latitudine d'un luogo si conta come la declinazione di un astro da 0° a 90°; ed è boreale od australe secondo che il luogo trovasi nell'emisfero boreale o nell'emisfero australe della terra.

Quanto alla longitudine essa non si conta alla precisa maniera dell'ascensione retta d'un astro; in luogo di contarla sempre nel medesimo verso e da 0° a 360°, la si conta dall'una o dall'altra parte dell'origine O delle longitudini, in modo che non sorpassi i 180°: è quindi indispensabile indicare la direzione secondo cui si conta la longitudine di ciascun luogo; il che si fa ponendo al valore numerico di questa longitudine la lettera E o la lettera O, secondo ch'essa è presa all'est od all'ovest dell'origine delle longitudini.

L'origine fissa, a partire dalla quale contansi le longitudini geografiche, può essere scelta arbitrariamente sull'equatore terrestre, come l'origine delle ascensioni rette lo poteva essere sull'equatore celeste. Tutti gli astronomi, come abbiamo già detto, s'accordano a prendere uno stesso punto del cielo per origine delle ascensioni rette; ma non è lo stesso riguardo alle longitudini geografiche. Il cielo è un terreno neutro in cui la scelta dell'origine delle ascensioni rette pochissimo importava all'amor proprio delle nazioni; sulla terra al contrario ogni popolo vuole che si contino le longitudini a partire dal punto ove l'equatore terrestre è tagliato dal meridiano d'uno dei luoghi principali del suo paese; ed invano per lungo tempo si volle far adottare da tutti i popoli il meridiano dell'isola del Ferro (la più occidentale delle isole Canarie) come punto di partenza per le longitudini; l'amor proprio delle nazioni prevalse: in Francia le longitudini si contano a partire dal meridiano dell'Osservatorio di Parigi; in Inghilterra le si contano ora dal meridiano

dell'Osservatorio di Greenwich, ora da quello della chiesa di San Paolo di Londra (*).

Il vocabolo *geografica*, che spesso si aggiunge ai vocaboli *longitudine* e *latitudine*, ha per oggetto di distinguere quelle longitudini e latitudini che ora abbiamo definite dalle *longitudini* e *latitudini celesti*, delle quali parleremo più tardi: non si usano da soli i vocaboli longitudine e latitudine che quando non vi può essere incertezza sulla specie di longitudine o latitudine di cui si vuol parlare.

Non è forse inutile l'indicare l'origine dei vocaboli *longitudine* e *latitudine*. I Romani, donde ci derivano queste denominazioni, non conoscevano che una piccola parte dei continenti che esistono sulla terra; questa parte era molto più estesa nella direzione dell'equatore e dei paralleli terrestri che non in quella dei meridiani; da ciò il vocabolo di longitudine (*longitudo*, lunghezza) per una distanza che si contava nella direzione della maggiore dimensione del mondo conosciuto, ed il vocabolo di latitudine (*latitudo*, larghezza) per una distanza che si contava nella direzione della minor dimensione.

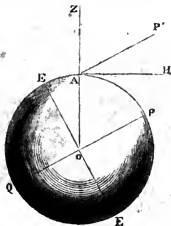
96. Misura delle latitudini geografiche. — La determinazione della latitudine d'un luogo non presenta alcuna difficoltà. Siano A (fig. 166) il luogo che si considera, P E Q E' il suo meridiano, E E' l'intersezione dell'equatore con questo meridiano, e P Q la linea dei poli della terra: l'arco A E, o, ciò che torna lo stesso, l'angolo A O E rappresenterà la cercata latitudine. L'angolo P O E essendo retto, questa latitudine è il complemento dell'angolo A O P; ma l'angolo A O P non è altro che la distanza zenitale Z A P' del polo della sfera celeste, per un osservatore collocato al punto A, poichè P Q è una parallela all'asse del mondo, come risulta dalle osservazioni astronomiche fatte in un luogo

(*) In Italia e in Germania per altro si continua nel considerare comunemente per meridiano principale quello passante per l'isola del Ferro.

A completare poi la corrispondenza tra le longitudini e latitudini geografiche colle ascensioni rette e le declinazioni celesti venne pure proposto, e sarebbe assai utile adottare, che anche le longitudini si contassero da 0° a 360°; soltanto che mentre le ascensioni rette si contano da occidente verso oriente (79), le longitudini dovrebbero contarsi da oriente verso occidente: in tal modo, mentre pel medesimo meridiano, nella rotazione diurna apparente del cielo, passano successivamente quei punti cui corrispondono ascensioni rette di continuo crescenti, il medesimo punto del cielo passerebbe successivamente pei meridiani, le cui longitudini andrebbero pure crescendo di continuo.

qualunque della terra; quindi la latitudine geografica del punto A è il complemento della distanza zenitale del polo in questo punto. Essendo l'altezza P′ A H sopra l'orizzonte il complemento della distanza zenitale Z A P′, si può anche dire che la latitudine geografica d'un luogo è eguale all'altezza del polo sopra l'orizzonte di questo luogo.

Fig. 166.

Vedesi dunque che la determinazione della latitudine d'un luogo dipende solo dalla misura della distanza zenitale del polo in questo luogo, la quale si ottiene operando come abbiamo precedentemente spiegato (68) onde arrivare a conoscere la direzione dell'asse del mondo. Si determinano pertanto le distanze zenitali d'una medesima stella al suo passaggio superiore ed al suo passaggio inferiore pel meridiano del luogo, e corretti questi due angoli dell'effetto della rifrazione, se ne prende la media, nella quale si ha immediatamente la distanza zenitale del polo: non resta più che sottrarre questa distanza zenitale da 90° per trovare la latitudine del luogo (*).

97. **Misura delle longitudini geografiche.** — La longitudine d'un luogo, secondo la data definizione, è evidentemente l'angolo compreso tra il meridiano di questo luogo ed il meridiano che serve d'origine alle longitudini. Per determinarla si parte dall'uniformità del moto di rotazione diurna della sfera celeste, come si è veduto farsi per misurare le ascensioni rette (82); giacchè in questo moto apparente i diversi cerchi di declinazione che s'imaginano sulla superficie della sfera celeste vengono successivamente a coincidere col piano di ciascheduno dei meridiani terrestri. Per trovare l'angolo compreso tra due di questi meridiani basta adunque determinare il tempo che impiega uno stesso cerchio di declinazione a passare dal-

(*) Mediante il circolo meridiano riesce facilissima siffatta determinazione della latitudine geografica; giacchè, conosciuti che sieno i due poli strumentali corrispondenti alle due posizioni del cerchio, dalla loro semidifferenza si ha addirittura la distanza zenitale del polo.

l'uno all'altro, vale a dire osservare l'intervallo di tempo compreso fra i passaggi d'una medesima stella per questi due meridiani. Conosciuto questo tempo in ore, minuti e secondi siderei, se ne concluderà facilmente l'angolo formato dai piani dei due meridiani, appoggiandosi a ciò che la sfera celeste impiega 24 ore sideree a compiere un giro intiero, vale a dire a ruotare d'un angolo di 360°: per cui ciascun'ora corrisponderà ad un angolo di 15 gradi; ciascun minuto di tempo ad un angolo di 15 minuti; e ciascun secondo di tempo ad un angolo di 15 secondi (82).

Il principio della misura delle longitudini geografiche, come vedesi, è altrettanto semplice quanto quello per la misura delle latitudini; ma l'applicazione ne è di gran lunga meno facile. La determinazione delle longitudini è una delle operazioni che presentano maggiori difficoltà, come si comprenderà facilmente dai particolari nei quali ora entreremo.

A prima giunta sembra che la determinazione della longitudine d'un luogo sia altrettanto semplice quanto quella dell'ascensione retta d'un astro; questa si trova misurando il tempo che scorre tra i due istanti in cui l'astro e l'origine delle ascensioni rette passano pel meridiano del luogo in cui siamo collocati; la longitudine d'un luogo si ottiene misurando il tempo che scorre tra i passaggi d'una medesima stella pel meridiano del luogo e pel meridiano che serve d'origine alle longitudini. La differenza essenziale tra queste due operazioni sta in ciò, che per misurare un'ascensione retta l'osservatore non cambia stazione e impiega uno stesso orologio sidereo per determinare il tempo di cui ha bisogno; mentre per misurare una longitudine bisogna osservare i passaggi d'una medesima stella in due diversi luoghi, e paragonare i tempi che segnerebbe uno stesso orologio sidereo agl'istanti di questi due passaggi; e non è possibile impiegare un medesimo orologio per quest'ultima operazione, giacchè due osservatori collocati in due diversi luoghi per osservare il passaggio della stella è pur d'uopo che impieghino due diversi orologi. Le indicazioni somministrate da questi due orologi non possono evidentemente servire alla determinazione dell'angolo compreso tra i meridiani dei due luoghi se essi non sono esattamente d'accordo, o almeno se non si conosce di quanto l'uno accelera o ritarda in confronto dell'altro; senza di che sarebbe impossibile dedurre dalle due osservazioni il tempo trascorso dall'una all'altra. Ora è appunto il paragone di questi due orologi per determinare di quanto l'uno accelera o ritarda in con-

fronto dell'altro, che presenta le maggiori difficoltà in ragione della gran distanza che separa bene spesso i due luoghi in cui trovansi collocati gli osservatori. Vedremo ora quali sono i mezzi che si usano per effettuare questo confronto.

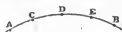
Supponiamo che i luoghi A, B (fig. 167), ove sono collocati i due orologi, de' quali si vogliono confrontare le simultanee indicazioni, siano tanto vicini l'uno all'altro che da ognuno d'essi si possa vedere un razzo lanciato in un punto intermedio C; all'istante preciso in cui questo razzo scoppierà nell'aria si noteranno in A ed in B i tempi segnati dai due orologi, ed il confronto tra i due risultati farà conoscere la quantità di cui l'uno dei due orologi accelera in confronto dell'altro. Se i due luoghi di cui trattasi, senz'essere troppo lontani l'uno dall'altro, non sono per altro tanto vicini da poter impiegare questo mezzo, si può far uso di più razzi lanciati in luoghi diversi, e di orologi o di cronometri disposti in numero conveniente in posizioni intermedie. Con un razzo lanciato tra i punti A, C (fig. 168) si potranno confrontare gli andamenti degli orologi collocati in questi due luoghi; un secondo razzo lanciato tra i punti C, D farà parimente conoscere l'accelerazione od il ritardo dell'orologio collocato in D in confronto di quello che trovasi in C, e così di seguito; finalmente da questi diversi risultati parziali combinati tra loro si dedurrà facilmente il definitivo risultato che si ha di mira, vale a dire l'accelerazione od il ritardo dell'orologio collocato in B in confronto dell'orologio collocato in A.

A C B

Fig. 167.

A C D E B

Fig. 168.

La recentissima e tanto maravigliosa invenzione del telegrafo elettrico somministra un eccellente mezzo per confrontare le simultanee indicazioni di due orologi collocati in luoghi fra loro collegati da un telegrafo di simil genere. Un segnale prodotto ad una delle estremità della linea telegrafica si trasmette con tale rapidità all'altra estremità di questa linea che si può riguardare questa trasmissione come istantanea senza commettere alcun errore sensibile, attesa la natura della quistione di cui ci occupiamo. Questo segnale, osservato nello stesso tempo da due persone collocate alle estremità della linea telegrafica, produce dunque esattamente lo stesso effetto che uno dei segnali a fuoco di cui abbiamo parlato.

Quando i due luoghi di cui si tratta sono troppo lontani l'uno dall'altro, in guisa che non si possa servirsi di segnali a fuoco,

e che questi due luoghi non sieno fra loro collegati mediante un telegrafo elettrico, si ricorre ai fenomeni celesti. Ora non ci possiamo dilungare in particolari su questo soggetto, ma vi ritorneremo più tardi quando se ne presenterà l'occasione: per adesso ci limitiamo a dire che un fenomeno istantaneo che avvenga nel cielo può servire tanto bene quanto un segnale a fuoco od un segnale elettrico per paragonare gli andamenti degli orologi collocati in due diversi luoghi della terra, e che un tale fenomeno presenta il gran vantaggio di poter essere osservato nello stesso tempo da luoghi lontanissimi l'uno dall'altro. Vedremo più tardi quali sono i fenomeni celesti che si scelgono per ottenere questo risultato.

Finalmente un ultimo mezzo, che può servire in ogni circostanza, consiste nel trasportare un cronometro dall'uno dei due luoghi nell'altro, dopo d'averlo regolato sull'orologio del primo di questi due luoghi; paragonando questo cronometro col secondo orologio si vedrà di quanto questo accelera o ritarda in confronto del primo. Il cronometro può anche far le veci del secondo orologio, e venire impiegato alla determinazione del tempo in cui una stella passa al meridiano del secondo luogo. L'esattezza di questo metodo riposa essenzialmente sulla bontà del cronometro di cui si fa uso. Esigendosi spesse volte un tempo molto lungo pel trasporto d'un cronometro da un luogo ad un altro, è indispensabile che per tutta la durata di questo tempo il suo andamento non provi la menoma variazione, senza di che ne risulterebbe un notevole errore nella longitudine richiesta. Questo metodo per altro di determinare le longitudini è tanto comodo che è quasi sempre impiegato dai marinai, ed è a questo scopo che si costruiscono gli orologi da marina, dei quali abbiamo precedentemente parlato (16 e 17). Un buon orologio di questa specie, messo d'accordo, all'istante della partenza, coll'orologio dell'Osservatorio di Parigi, fa sì che i naviganti per lungo tempo possano conoscere con bastante esattezza l'ora che segna quest'orologio ad un istante qualunque; e notando il tempo segnato dall'orologio all'istante in cui una stella passa al meridiano del luogo in cui si trovano, e paragonando questo tempo con quello in cui si sa che la medesima stella passa al meridiano di Parigi, ne deducono immediatamente la longitudine del luogo riferita a quest'ultimo meridiano siccome origine.

In certe circostanze affatto speciali, in cui fa duopo di conoscere la longitudine d'un luogo con grande esattezza, si fa uso di parecchi cronometri, che si trasportano insieme onde po-

tere continuamente paragonare il loro andamento. Se tutti questi cronometri si mantengono d'accordo per tutta la durata del viaggio, è probabilissimo che il loro andamento sia stato tanto regolare quanto quello d'un eccellente orologio fisso, e si può intieramente fidarsi delle indicazioni che essi somministrano. Usando poi di questi cronometri più volte, rifacendo il medesimo viaggio, si ottengono altrettante distinte determinazioni della richiesta longitudine; e la media di questi risultati, che non differiscono giammai molto gli uni dagli altri, può essere considerata come il vero valore di questa longitudine. La prima operazione di questo genere fu fatta nel 1824, per ordine dell'ammiragliato inglese, 35 cronometri attraversarono sei volte il mare del Nord per determinare le longitudini d'Altona, dell'isola d'Heligoland e di Brema, riferite al meridiano dell'osservatorio di Greenwich. Nel 1843 l'imperatore di Russia fece parimente determinare la longitudine del suo nuovo osservatorio di Pulkowa (vicino a Pietroburgo) rispetto a quello di Greenwich, mediante 68 cronometri che si trasportarono dall'uno all'altro luogo e che si conservarono sempre perfettamente d'accordo.

Per trovare la longitudine d'un luogo fa duopo osservare il passaggio d'una stella pel meridiano di questo luogo. Non bisogna però credere essere a ciò necessario di collocarvi un cannocchiale meridiano; mediante il teodolite per chi si trova sulla terra, o mediante il sestante per chi si trova in mare, si possono compiere tutte le operazioni necessarie alla determinazione tanto delle longitudini quanto delle latitudini. Più tardi, quando saremo in grado di completare le prime indicazioni ora date sulla misura delle longitudini, faremo vedere come si fa uso di questi strumenti portatili, in guisa che suppliscano all'uso dei grandi strumenti fissi degli osservatorii.

98. **Diversi aspetti del moto diurno nei diversi luoghi della terra.** — Il moto da cui sembrano animati tutti gli astri, in conseguenza della rotazione della terra intorno al suo asse, non presenta da per tutto le medesime apparenze, ma cambia d'aspetto colla latitudine del luogo da cui lo si osserva.

Trovandosi ad uno dei poli p della terra (fig. 169), si vedrebbe l'asse del mondo diretto secondo la verticale $p\,Z$; l'equatore celeste sarebbe nel piano dell'orizzonte $H\,H'$; tutte le stelle situate in uno dei due emisferi rimarrebbero costantemente visibili, e quelle dell'altro emisfero costantemente invisibili: ciascuna stella situata al di sopra del piano dell'orizzonte ruoterebbe intorno alla verticale descrivendo un circolo parallelo a questo piano, e

rimanendo in conseguenza sempre alla medesima altezza: nessuna stella sorgerebbe nè tramonterebbe.

Fig. 169. Fig. 170.

Trovandosi in un luogo qualunque A (fig. 170), situato fra l'equatore ed uno dei poli della terra, tutto vedrassi accadere diversamente. L'asse del mondo avrà una direzione P A Q parallela all'asse di rotazione *p q* della terra; l'inclinazione di questa retta P A Q sull'orizzonte H H' varierà colla latitudine geografica del punto A, essendo l'angolo P A H' eguale a questa latitudine (96). Tutte le stelle situate nell'emisfero E P E', e le cui declinazioni sono maggiori dell'angolo E' A H', rimarranno costantemente al di sopra dell'orizzonte; tutte quelle che sono nell'emisfero opposto, e le cui declinazioni sono parimente maggiori dell'angolo E' A H', o, ciò che torna lo stesso, maggiori dell'angolo E A H, non s'eleveranno giammai sopra l'orizzonte: tutte le stelle intermedie, vale a dire quelle le cui declinazioni sono minori dell'angolo E A H ovvero E' A H', qualunque sia l'emisfero in cui si trovano, s'innalzeranno al di sopra dell'orizzonte e s'abbasseranno al di sotto di questo piano entro la durata di ciascun giorno sidereo. Ma l'intervallo di tempo compreso tra il sorgere ed il tramontare di ciascuna di esse sarà lungi dall'essere il medesimo per tutte; il cerchio *e e'* descritto da ciascuna stella è tagliato dall'orizzonte H H' in due parti *e m*, *e' m*, generalmente disuguali, e tanto più disuguali quanto più la stella è lontana dall'equatore E E'; la porzione *e m*, situata al di sopra dell'orizzonte, è maggiore dell'altra porzione *e' m* per tutte le stelle situate nell'emisfero E P E', e minore, al contrario, del-

l'altra porzione $e'm$ per tutte le stelle dell'emisfero E Q E'. Gli è perciò che all'Osservatorio di Parigi, la cui latitudine è 48° 50' 11", veggonsi le stelle dell'emisfero boreale, le cui declinazioni sono maggiori di 41° 9' 49", rimanere costantemente sopra dell'orizzonte, mentre le stelle dell'emisfero australe, le cui declinazioni sono maggiori dello stesso limite 41° 9' 49", rimangono sempre al di sotto di questo piano, e per conseguenza non sono mai visibili; finalmente le stelle le cui declinazioni son minori di 41° 9' 49" sorgono e tramontano ogni giorno, rimanendo al di sopra dell'orizzonte maggiore o minor tempo secondo ch'esse sono più o meno vicino al polo boreale della sfera celeste (*).

Andando dal polo della terra verso il suo equatore, si vedrà l'asse del mondo abbassarsi ognor più verso l'orizzonte; il numero delle stelle che rimangono costantemente sopra questo piano andrà sempre diminuendo, mentre il numero di quelle che sorgono e tramontano andrà aumentando. Giunti finalmente in un punto dell'equatore terrestre (fig. 171), l'asse del mondo sarà diretto nel piano dell'orizzonte; tutte le stelle, nessuna eccettuata, sorgeranno e tramonteranno, e ognuna di esse rimarrà egual tempo al di sopra e al di sotto dell'orizzonte. È chiaro infatti che il cerchio e e' descritto da una stella in virtù del

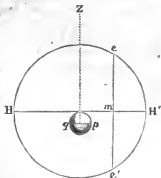



Fig. 171.

(*) Per l'Osservatorio di Milano, la cui latitudine è 45° 28' 0", rimangono costantemente sull'orizzonte le stelle le cui declinazioni boreali son maggiori di 44° 32' 0", e rimangono sempre al di sotto dell'orizzonte le stelle australi le cui declinazioni sono parimente maggiori di 44° 32' 0".

Quelle stelle poi che hanno la declinazione esattamente eguale al complemento della latitudine geografica, dovrebbero lambire l'orizzonte al loro passaggio inferiore al meridiano, se non venissero sollevate alquanto dalla rifrazione; tali sono per Milano le stelle la cui declinazione boreale è di 44° 32' 0". Quelle stelle infine che hanno la declinazione esattamente eguale alla latitudine geografica arrivano allo zenit nel loro passaggio superiore al meridiano; tali dovrebbero essere per Milano le stelle che avessero la declinazione di 45° 28' 0"; e questo loro passaggio non è per nulla alterato dalla rifrazione, la quale, come abbiamo veduto, è affatto nulla quando è nulla la distanza zenitale (58) (vedi tav. 1).

moto diurno sarà tagliato in due parti eguali e m, $e'm$ dall'orizzonte H H', qualunque sia la posizione di questa stella nel cielo.

Queste diverse circostanze che presenta il moto diurno nei diversi luoghi della terra possono essere studiate colla maggiore facilità mediante un globo celeste montato, come indica la figura 135 (pag. 154). Basta perciò dare successivamente all'asse P Q del globo differenti inclinazioni sul piano dell'orizzonte H H'; e facendo ruotare il globo intorno all'asse P Q, per ciascuna delle posizioni che vengono date a quest'asse si avrà l'imagine del moto diurno quale ha luogo nei diversi punti della terra, la cui latitudine è eguale all'angolo che la retta P Q fa col piano H H'.

99. **Che cosa intendasi per longitudine e latitudine geografiche nel caso in cui si considera la terra non isferica.** — Le definizioni che vennero date della longitudine e latitudine geografiche (95) suppongono essenzialmente che la superficie della terra sia sferica; rimane dunque a sapersi ciò che deve intendersi coi vocaboli longitudine e latitudine quando non si considera più la terra come avente la figura esatta d'una sfera.

Abbiamo detto essere la latitudine d'un luogo la distanza di questo luogo dall'equatore terrestre, contata sopra un meridiano e valutata in gradi, minuti e secondi; ma abbiamo poscia veduto (96) essere la latitudine, così definita, il complemento della distanza angolare dello zenit dal polo della sfera celeste, od anche essere la latitudine eguale all'altezza angolare di questo polo al di sopra dell'orizzonte. Questi ultimi enunciati sono affatto indipendenti dalla figura della terra; noi li terremo d'ora in avanti come esprimenti la definizione della latitudine geografica d'un luogo, in guisa che, considerando anche la terra come non sferica, il significato del vocabolo latitudine riesce esattamente determinato per ciascun luogo della terra, e la misura della latitudine si conseguirà sempre come abbiamo precedentemente indicato.

Abbiam detto ancora essere la longitudine d'un luogo la porzione d'equatore terrestre compresa tra il meridiano di questo luogo e un punto fisso dell'equatore, punto che comunemente si prende sul meridiano d'un luogo rimarcabile, che serva così d'origine alle longitudini; ma abbiamo riconosciuto che questa longitudine altro non è che l'angolo compreso tra il piano meridiano del luogo che si considera e il piano meridiano del luogo particolare preso per origine delle longitudini. Quest'ultimo enunciato, indipendente dalla figura della terra, ci servirà d'ora in avanti di definizione per le longitudini geografiche; e qualun-

que sia la forma della terra, la misura delle longitudini si conseguirà esattamente alla stessa maniera che se la terra fosse sferica.

100. Equatore, paralleli, meridiane, nell'ipotesi della terra non isferica. — Nell'ipotesi della sfericità della terra abbiamo imaginato sulla sua superficie una serie di circoli, ai quali abbiam dato il nome d'equatore, di paralleli e di meridiani. Quando non si considera più la terra come sferica, si mantengono le stesse denominazioni, o almeno denominazioni analoghe; vediamo a che cosa esse corrispondano.

Dicesi equatore terrestre quella linea tracciata sulla superficie della terra che passa per tutti i punti, la cui latitudine è nulla.

Dicesi parimente parallelo terrestre una linea che passa per tutti i punti avente una stessa latitudine.

I poli della terra sono i due punti la cui latitudine è di 90 gradi.

Finalmente dicesi meridiana una linea che passa per tutti i punti aventi una medesima longitudine. Nel caso in cui la terra fosse considerata sferica non vi sarebbe alcun inconveniente, come abbiamo veduto (94), nell'impiegare il vocabolo *meridiano* per designare sia il piano condotto per la verticale d'un luogo e l'asse del mondo, sia il cerchio massimo terrestre passante per questo luogo e i due poli della terra; ma non sarebbe stato lo stesso se si fosse conservato il medesimo vocabolo per applicarlo alla linea condotta per tutti i punti aventi una medesima longitudine. Gli è perciò che il vocabolo meridiana venne adottato per designare questa linea. I piani meridiani dei diversi luoghi situati sopra una medesima meridiana non costituiscono necessariamente un solo e medesimo piano; sono soltanto fra loro paralleli, poichè son tutti paralleli all'asse di rotazione della terra, e fanno un medesimo angolo col meridiano del luogo che serve d'origine alla longitudine.

Si può farsi un'idea abbastanza chiara della forma che assume una linea meridiana sulla superficie della terra mediante le seguenti considerazioni. Imaginiamo che si circoscriva alla superficie della terra un cilindro, le cui generatrici siano perpendicolari al piano meridiano d'un luogo particolare A (fig. 172);

Fig. 172.

questo cilindro toccherà la terra lungo una linea A B C, che non sarà altra cosa che la meridiana del punto A. In fatti se si conduce per un punto qualunque B di questa linea un piano parallelo al piano meridiano del punto A, vale a dire perpendicolare alle generatrici del cilindro circoscritto, questo piano sarà parallelo all'asse di rotazione della terra, e in oltre conterrà evidentemente la verticale del punto B: questo piano sarà dunque il meridiano del punto B. Risulta perciò che tutti i piani meridiani dei diversi punti della linea A B C sono paralleli a quello del punto A, vale a dire sono tra loro paralleli, e in conseguenza la linea A B C è veramente una meridiana.

Si avrà parimente un'idea della forma dell'equatore circoscrivendo alla terra un cilindro le cui generatrici sienò parallele all'asse del mondo: l'equatore sarà la linea di contatto di questo cilindro colla superficie della terra.

101. Andamento a seguirsi per determinare la figura della terra. — Noi non possiamo eseguire delle operazioni che sulla superficie della terra, o almeno a tal piccola distanza da essa da potersi valutare (93): gli è dunque mediante siffatte operazioni soltanto che vuol essere studiata la superficie della terra per determinarne la figura. L'andamento più semplice e naturale a seguirsi in ciò è di cercare in qual maniera varia la curvatura di questa superficie da un luogo ad un altro; e conosciute le diverse curvature ch'essa presenta, potremo giungere facilmente alla cognizione delle parti più o meno depresse, e delle prominenze più o meno pronunciate da cui essa è formata.

Ma la quistione non si è a prima giunta presentata con questo carattere di generalità. Le considerazioni teoriche che fecero dire a Huyghens e a Newton non essere sferica la terra li condussero in pari tempo ad annunciare che la superficie della terra deve avere la forma d'un *ellissoide di rivoluzione*, schiacciato nella direzione della linea dei poli. È noto che l'*ellisse* è la curva che si descrive facendo scorrere la punta d'una matita C (fig. 173) lungo un filo F C F', le cui due estremità sono fissate in F ed in F', avendo cura che questo

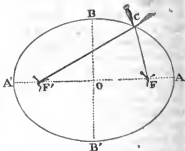



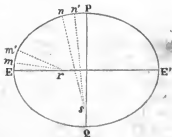
Fig. 173.

filo rimanga dalla matita costantemente teso; i due punti fissi F, F′ diconsi i due fochi dell'ellisse; la retta A A′, che passa pei due fochi, è l'asse maggiore della curva; il punto O di mezzo dell'asse maggiore, o della distanza F F′ dei due fochi, è il centro dell'ellisse; la retta B B′ condotta pel centro O perpendicolarmente all'asse maggiore A A′ ne è l'asse minore. Se s'imagina che l'ellisse ruoti intorno al suo asse minore B B′ genererà una superficie alla quale si dà il nome di ellissoide di rivoluzione schiacciato. Tale è la forma che Huyghens e Newton attribuivano alla superficie della terra, aggiungendo che l'asse minore dell'ellisse, vale a dire l'asse intorno cui la curva ha ruotato per generare la superficie, era precisamente la linea dei poli della terra. Le misure che si effettuarono d'allora sulla superficie del nostro globo non avevano dunque per oggetto che di cercare qual'era la forma della superficie della terra, senza alcun preventivo giudizio su questa forma; ma esse erano unicamente fatte allo scopo di verificare la realtà delle idee emesse da que' due illustri geometri, come pure di determinare la grandezza dello schiacciamento di cui essi annunciavano l'esistenza.

Considerata la terra come un ellissoide di rivoluzione schiacciato, la cui linea de' poli era l'asse, l'equatore e i paralleli trovavansi essere dei cerchi come nel caso che la terra fosse stata sferica; ed altra cosa non erano i meridiani che le diverse posizioni che assume l'ellisse ruotando intorno al suo asse per generare la superficie dell'ellissoide. La determinazione della figura della terra riducevasi dunque alla ricerca della forma dell'ellisse meridiana.

Come dicevamo in generale al principio di questo paragrafo, non è che colla misura della curvatura di quest'ellisse, fatta in diversi punti, che si dovette cercare di determinarne la forma. Se l'ellisse meridiana della terra ha realmente il suo asse minore diretto a seconda della linea dei poli P Q, come indica la fig. 174, la sua curvatura dev'essere più pronunciata verso l'equatore E E′ che verso i poli P, Q. Se si considerano due

Fig. 174.

archi $m\ m'$, $n\ n'$ della stessa lunghezza, e situati a differenti distanze dall'equatore, l'angolo $m\ r\ m'$ formato dalle verticali

condotte alle estremità di quello che ne è più vicino dev' essere maggiore dell' analogo angolo *n s n'* formato dalle verticali condotte alle estremità dell'altro; o, in altre parole, per avere nella vicinanza del punto *n* un arco le cui verticali estreme comprendano fra esse un angolo eguale a quello formato dalle verticali condotte alle estremità dell'arco *m m'*, è duopo dargli una lunghezza maggiore di quella dell'arco *m m'*, e tanto maggiore quanto più è vicino ad uno dei poli. Se l'angolo *m r m'* è d'un grado, l'arco *m m'* è ciò che diecsi arco d'un grado. Vedesi dunque che se la terra è schiacciata verso i poli, l'arco d'un grado misurato sopra una meridiana, non deve avere dovunque la medesima grandezza; la sua lunghezza deve costantemente aumentare a misura che si allontana dall'equatore per avvicinarsi all'uno o all'altro dei due poli.

Pertanto, dietro quanto fu detto, tutto si riduce a misurare l'arco di un grado in diversi punti d'una meridiana, e confrontare tra loro i differenti risultati che si otterranno. E perchè nell'ipotesi in cui la terra ha la forma d'un'ellissoide di rivoluzione, tutte le meridiane sono ellissi fra loro eguali, non è necessario che questi diversi archi d'un grado sieno tutti presi sopra una stessa meridiana; si possono misurare in punt qualsivogliano della superficie della terra, e usarne in appresso assolutamente alla stessa maniera come se tutti appartenessero a una stessa meridiana terrestre. Se questi archi d'un grado sono tanto più lunghi quanto più elevate sono le latitudini cui corrispondono, si potrà conchiuderne con certezza che la terra è infatti schiacciata verso i poli; ed in oltre, mediante i valori numerici trovati per questi archi d'un grado, si potrà calcolare la grandezza dello schiacciamento della terra.

Ed ora vedremo con quali mezzi si arriva a misurare la lunghezza d'un arco d'un grado preso su di una meridiana.

102. Misura d'un arco d'un grado preso su di una meridiana. — Essendo in ogni caso press' a poco sferica la terra presa nel suo insieme, malgrado lo schiacciamento di cui vogliamo stabilire l'esistenza, la curvatura d'una meridiana terrestre non cambia molto da un punto ad un altro; in guisa che si può, entro certi limiti, considerare la lunghezza d'un arco di meridiana come proporzionale all'angolo formato dalle verticali condotte alle sue estremità. Se, entro questi limiti, si considera nel medesimo luogo un arco doppio o triplo d'un altro, l'angolo formato dalle sue verticali estreme sarà doppio o triplo di quello formato dalle verticali estreme di quest'altro

arco. Misurata adunque la lunghezza d'un arco di meridiana, e determinato l'angolo formato dalle verticali condotte alle estremità di quest'arco, basterà dividere la lunghezza dell'arco pel valore dell'angolo espresso in gradi e frazioni di grado per avere la lunghezza dell'arco d'un grado corrispondente al luogo in cui venne fatta l'operazione.

La determinazione dell'angolo formato dalle verticali condotte alle estremità d'un arco di meridiana non presenta la menoma difficoltà; poichè, nell'assunta ipotesi che la superficie della terra sia una superficie di rivoluzione, quest'angolo è evidentemente la differenza degli angoli che le due verticali fanno coll'asse del mondo, e per conseguenza la differenza fra le latitudini delle due estremità dell'arco. Non rimane dunque più che mostrare con quali mezzi si può misurare la lunghezza d'un arco di meridiana.

105. In alcuni casi eccezionali questa misura può compiersi direttamente sul suolo mediante un regolo di nota lunghezza, che si porta successivamente sulle diverse parti dell'arco. Gli è così che nel 1768 gli astronomi Mason e Dixon giunsero a misurare con questo semplice processo un arco di meridiana della totale lunghezza di 538078,39 piedi inglesi (il piede inglese vale $0^m,305$ (*)), sul limite degli stati di Pensilvania e di Maryland, in una penisola situata tra le imboccature dei fiumi Chesapeack, Potomack e Delaware. Ma questa misura non potè compiersi sopra un solo arco diretto per tutta la sua estensione secondo la meridiana del punto di partenza; la lunghezza misurata risultò composta in realtà di quattro archi differenti A B, C D, E F, F G (fig. 175): ciascuno de' tre primi era diretto secondo una speciale meridiana, e furono scelti in maniera che gli estremi B e C avessero la medesima latitudine, così come gli estremi D ed E, in guisa che la somma di questi tre archi fosse eguale all'arco A F' della prima meridiana terminante al parallelo del punto F: il quarto arco F G era diretto obliquamente rispetto al prolungamento dell'arco E F; ma, conoscendosi l'angolo che esso formava con questo prolungamento, si potè dedurne la lunghezza F G'' dell'arco di meridiana com-

Fig. 175.

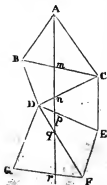
(*) Tale lunghezza equivale dunque a metri 164003,328. (Vedi in seguito al num. 106.)

preso tra il punto F e il parallelo passante pel punto G: quest'arco F G″, eguale a F′ G′, dovette essere aggiunto alla somma dei tre archi A B, C D, E F per formare l'arco totale A G′ della meridiana del punto A, compreso tra questo punto e il parallelo del punto G; ed è quest'arco che venne trovato eguale a 538 078,39 piedi inglesi. La latitudine del punto A era di 39° 56′ 19″; quella del punto G′, la stessa di quella del punto G, era di 38° 27′ 34″; la differenza fra queste due latitudini, vale a dire l'angolo delle verticali delle due estremità dell'arco A G′, era dunque di 1° 28′ 45″ o 1°,479167. Dividendo 538 078,39 per 1,479 167 trovasi 363 771 piedi inglesi (110 875m,4) esprimenti la lunghezza dell'arco di un grado corrispondente alla regione nella quale venne eseguita l'operazione.

Si comprenderà facilmente che la misura d'un arco di meridiana non può da per tutto essere eseguita alla maniera che abbiamo detto: dobbiamo anzi maravigliare come sia stato possibile il trovare una località opportuna a compiere l'operazione di cui abbiamo parlato, e per una così grande lunghezza. Le ineguaglianze della superficie del suolo, i corsi d'acqua, le foreste sono altrettanti ostacoli che contribuiscono a rendere un'operazione di tal genere impraticabile sulla quasi totalità della superficie della terra. Si dovette pertanto ricorrere ad un altro mezzo che potesse venire usato dovunque, ed ora spiegheremo in che cosa consista.

104. Supponiamo che vogliasi trovare la lunghezza d'un arco di meridiana partendo dal punto A (fig. 176); e che siansi scelti, in vicinanza ai luoghi ove si ritiene che quest'arco debba passare, dei punti B, C, D,.... così collocati da poter essere veduti da lontano; potranno essere, per esempio, sommità d'edificii elevati come campanili, ovvero segnali artificiali posti sull'alto di certe colline. Supponiamo in oltre che i diversi punti A, B, C, D,... siano fra loro congiunti per linee rette in guisa da formare una rete di triangoli attraverso alla quale passa il meridiano del punto A.

Fig. 176.

Conoscendo tutti i lati e tutti gli angoli di questi diversi triangoli, come pure l'angolo formato dalla meridiana A *m n*.... col lato A B, se ne dedurrebbero facilmente, sia mediante una costruzione

geometrica, sia mediante un calcolo trigonometrico, le lunghezze delle diverse parti A *m*, *m n*, *n p*,... di questa meridiana. Infatti nel triangolo A B *m* si conoscerebbero il lato A B e i due angoli adjacenti B A *m*, A B *m*; se ne dedurrebbero il lato A *m* che forma la prima parte della meridiana, e in oltre il lato B *m* e l'angolo B *m* A: nel triangolo *m* C *n* si conoscerebbero il lato C *m*, che è la differenza tra B C e B *m*, e i due angoli adjacenti *m* C *n*, C *m n*, giacchè il secondo di questi angoli è eguale all'angolo B *m* A precedentemente determinato; se ne dedurrebbero il lato *m n* che forma la seconda parte della meridiana, e in pari tempo il lato C *n* e l'angolo C *n m*: alla stessa maniera il triangolo D *n p* farebbe conoscere la terza parte *n p* della meridiana; e continuando così si arriverebbe a determinare le lunghezze di tutte le parti della meridiana del punto A, comprese entro i diversi triangoli della rete.

È facile il vedere che non è necessario di misurare direttamente i tre lati e i tre angoli di ognuno dei triangoli che compongono la rete per poter operare siccome abbiam detto; basta misurare tutti gli angoli ed un sol lato, che si designa col nome speciale di *base*. Supponiamo infatti che A B sia il lato che si è misurato: il triangolo A B C è intieramente conosciuto conoscendosi uno de' suoi lati e i suoi tre angoli; se ne può dunque dedurre la lunghezza di ciascuno degli altri due lati A C, B C: parimente noti i tre angoli del triangolo B C D e il lato B C che si è ritrovato, si può determinare la lunghezza di ciascuno degli altri due lati B D, C D; e così mano mano si giungeranno a conoscere le lunghezze di tutti i lati della rete dei triangoli come se si fossero direttamente misurati. Se in luogo del lato A B si fosse misurato un altro lato comunque preso nella rete dei triangoli, se ne dedurrebbero, con processo affatto analogo, le lunghezze di tutti gli altri lati. Comprendesi immediatamente di quanto vantaggio riesca una tal circostanza nel facilitare d'assai la determinazione della lunghezza d'un arco di meridiana; giacchè sarebbe quasi sempre impossibile il misurare direttamente le lunghezze dei diversi lati della rete dei triangoli; mentre, non avendosi a misurare che un solo di questi lati, si può sempre disporre la rete in guisa che una tale operazione si compia senza difficoltà. Basterà perciò scegliere due dei vertici dei triangoli in modo che il terreno compreso tra essi si presti facilmente alla misura della distanza che li separa. Quanto alla misura degli angoli, essa si farà mediante un cerchio ripetitore o un teodolite, che si collocherà successivamente ad ognuno dei vertici dei triangoli.

Per non complicare d'un tratto l'esposizione di questo metodo di triangolazione abbiamo considerato implicitamente i vertici A, B, C, D, E,.... come situati su quella medesima superficie della quale noi cerchiamo la figura, vale a dire sul prolungamento della superficie dei mari. Ma realmente così non avviene: i punti A, B, C, D, E.... trovansi elevati più o meno al di sopra di questa superficie; per cui i piani dei triangoli A B C, B C D, C D E... sono in generale inclinati gli uni da una parte, gli altri da un'altra; per cui non si considerano questi medesimi triangoli. Che se da ciascuno dei vertici A, B, C.... (fig. 177), s'imagini condotta la verticale che va ad incontrare il prolungamento della superficie dei mari in un certo punto, i punti *a*, *b*, *c*,... così ottenuti determinano su questa superficie una serie di triangoli *a b c*, *b c d*,... ciascuno dei quali corrisponde ad uno dei triangoli A B C,

Fig. 177.

B C D...: son questi nuovi triangoli *a b c*, *b c d*,... che si considerano esclusivamente; e ad essi devonsi riferire i ragionamenti che sopra abbiam fatti sui triangoli ABC, BCD... Sono pertanto gli angoli ed un lato di questi nuovi triangoli che fa duopo conoscere mediante misure dirette a fine di poter dedurre le lunghezze delle diverse parti della meridiana in essi comprese. Ora questi angoli e questo lato si determinano facilmente mediante misure fatte sulla superficie medesima del suolo. Da una parte è facile il riconoscere che uno degli angoli d'un triangolo qualunque *b c d*, preso sul prolungamento della superficie dei mari, per esempio, l'angolo il cui vertice è *b*, altro non è che l'angolo compreso fra i piani verticali condotti pei due lati B C, B D del triangolo corrispondente, preso sulla superficie del suolo; in guisa che, situandosi al punto B con un opportuno strumento, si misurerà non già l'angolo C B D, ma l'angolo formato dai piani verticali che passano pei lati B C, B D; ed abbiamo già veduto (45) che il teodolite è eminentemente proprio a cotesta misura. D'altra parte, colla misura diretta sulla superficie del suolo, di uno dei lati della rete dei triangoli che si è disposta, del lato A B per esempio, preso come base, si può trovare la lunghezza del lato *a b* che gli corrisponde nella rete tracciata sul prolungamento della superficie dei mari: la base A B, misurata sopra un suolo orizzontale, come si usa comunemente, può essere considerata come un arco di cerchio il cui centro è il punto d'incontro delle verticali condotte alle sue due estremità A B; il lato corrispon-

dente *a b* è del pari un arco di cerchio avente il medesimo centro e compreso tra i medesimi raggi; l'eccesso di A B sopra *a b* si deduce con facilità conoscendosi preventivamente e con approssimazione il raggio della terra che si prende per raggio dell'arco *a b*, e conoscendosi anche l'altezza del lato A B al di sopra della superficie dei mari ottenuta mediante osservazioni barometriche. Se non si avesse alcuna preventiva nozione sulle dimensioni della terra, si potrebbe, per una prima approssimazione, prendere la lunghezza della base A B come se fosse quella del lato *a b* che gli corrisponde sul prolungamento della superficie dei mari, salvo a ritornare dopo sulle determinazioni fatte dietro quest' ipotesi quando la lunghezza del raggio della terra sarebbe stata approssimatamente ottenuta in seguito a queste prime determinazioni (*).

Quando si cerca la lunghezza d'un arco di meridiana per mezzo di una triangolazione, operando come abbiamo detto, si conosce esattamente il punto di partenza A di quest'arco (fig. 176), ma non si sa dove sia situata la sua seconda estremità *r*. Gli è vero che, dopo aver determinato, di conformità a quanto fu detto precedentemente, la lunghezza della porzione F *r* del lato F G, si potrebbe cercare sul suolo il luogo in cui si trova il punto *r*; ma, oltre che questa ricerca presenterebbe spesso di grandi difficoltà pratiche, accadrebbe pure di frequente che il punto *r* non sarebbe situato in condizione favorevole per potervi collocare un istrumento qual é un cerchio ripetitore od un teodolite. Occorre per altro di conoscere la latitudine del punto *r* con pari esattezza di quella del punto A, per dedurne l'angolo compreso tra le verticali condotte per questi due punti (102). Onde ottener ciò osservansi le latitudini delle due estremità F, G del lato su cui è tuato il punto *r*; e, conoscendo le distanze comprese tra questo

(*) Un'altra avvertenza è d'uopo avere nella scelta dei punti costituenti i vertici dei triangoli, dovendosi evitare colla massima cura que' triangoli i cui lati presentino lunghezze molto differenti fra di loro: giacchè l'esattezza colla quale si possono ottenere dal calcolo le lunghezze di due lati d'un triangolo, quando ne sieno conosciuti quella del terzo e gli angoli, è diversa a norma del triangolo medesimo, ed è *massima* quando il triangolo è *equilatero;* mentre la medesima determinazione riesce molto incerta in que' triangoli i cui lati differiscono d'assai fra di loro. Siccome poi la lunghezza della base non è in generale molto grande, così da principio si fanno più piccoli i triangoli, ingrandendoli successivamente, in guisa che venga sempre soddisfatta la qui esposta condizione, che è quanto vedesi appunto nelle seguenti figure 178 e 181.

punto r e i due punti F, G, se ne deduce facilmente la latitudine del punto r; poichè, attesa la piccolezza del lato F G rapporto alle dimensioni della terra, si può ammettere che andando da F in G, lungo la retta F G, la latitudine varii proporzionalmente al cammino percorso su questa retta.

Fig. 178.

105. Meridiana di Francia. — Il migliore esempio che possiamo dare della misura d'un arco di meridiana per mezzo di una triangolazione è l'operazione che venne eseguita in Francia alla fine dell'ultimo secolo dagli astronomi Delambre e Méchain: L'arco da essi misurato ha il suo punto di partenza a Dunkerque, attraversa la Francia nella sua maggior lunghezza dal nord al sud, e finisce in Ispagna presso Barcellona.

La fig. 178 rappresenta una parte della rete di triangoli che ha servito a quest'operazione, e può dare un'idea della grandezza dei triangoli impiegati. Questa porzione di rete, in cui il Panteon di Parigi costi-

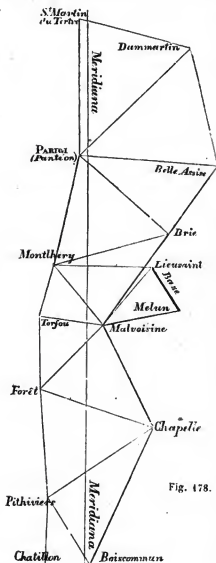
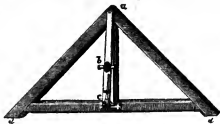
tuisce uno dei vertici, contiene il lato che è stato adottato per servire di base alla triangolazione; la qual base è stata presa sulla strada che va da Melun a Lieusaint, per la sua molta opportunissima regolarità alla diretta misurazione di una gran lunghezza.

Sulla linea da misurarsi venivano successivamente portati quattro regoli di platino, di due tese di lunghezza ciascuno, i quali però non appoggiavano direttamente sul suolo, ma erano sostenuti da pezzi di legno esattamente diritti, che posavano sopra treppiedi a vite destinati a mantenerli nell'opportuna posizione. Ogni volta che uno di questi regoli veniva collocato di seguito all'altro, s'aveva cura di non stabilirne il contatto tra le loro estremità, giacchè in tal caso il contatto sarebbe stato quasi sempre accompagnato da un leggiero urto che avrebbe potuto spostare il regolo già collocato. Per misurare l'intervallo che rimaneva così tra i due regoli, si ricorreva ad una linguetta *a* (fig. 179)

Fig. 179.

adattata all'estremità anteriore di ciascun regolo, e che si poteva far scorrere entro due scanalature mediante un bottone *b*, che si faceva ruotare intorno a sè stesso; questa linguetta era graduata, e mediante un nonio si potevano valutare piccolissime frazioni delle sue divisioni. Non presentando il suolo da per tutto una perfetta orizzontalità non potevansi collocare orizzontalmente i regoli, perchè venissero press'a poco sempre disposti alla medesima altezza dal suolo per maggior comodo delle operazioni; misuravasi però l'inclinazione di ciascun regolo mediante un livello qui rappresentato (fig. 180); e, conosciuta quest' inclinazione, si poteva

Fig. 180.

calcolare la quantità di cui dovevasi diminuire la lunghezza del regolo, compresa la porzione della linguetta sporgente alla sua

estremità, onde trovare la distanza orizzontale compresa tra le verticali condotte alle sue due estremità. Semplicissima è la disposizione di questo livello: un'alidada *a b c*, mobile intorno al punto *a*, porta nel suo mezzo un livello a bolla d'aria *b*, ed è munito d'un indice e d'un nonio alla sua estremità *c*, che muovesi lungo un arco di cerchio graduato: quando il livello s'appoggia sopra uno dei regoli colle parti *d*, *d*, si fa muovere l'alidada intorno al punto *a* finchè la bolla d'aria in *b* occupa il mezzo del tubo che la rinchiude, e l'inclinazione del regolo è indicata dalla posizione che occupa l'indice dell'alidada sull'arco di cerchio graduato. Finalmente, producendosi per le variazioni di temperatura corrispondenti variazioni nella lunghezza dei regoli, si aveva cura di notare la temperatura di ciascun regolo ogni volta che si osservava la sua inclinazione e la lunghezza della parte sporgente della sua linguetta, onde poter ridurre l'indicazione della lunghezza totale di questo regolo a ciò che sarebbe stata qualora la temperatura si fosse costantemente mantenuta eguale a quella del ghiaccio fondente.

Operando colla massima cura, conformemente a quanto abbiamo detto, si trovò che la lunghezza totale della base compresa tra Melun e Lieusaint era di tese 6 075,98. Essendo l'altezza media della base sopra il livello del mare di circa 41 tesa, se ne conchiuse che la sua lunghezza doveva essere diminuita di tese 0,08, ond'essere ridotta al livello del mare (104); la lunghezza della base così ridotta era pertanto di tese 6075,90.

Gli angoli di tutti i triangoli della rete furono misurati con un circolo ripetitore (58), e la fig. 80 (pag. 85) rappresenta precisamente l'istromento che venne impiegato in questa misura (*). Ma noi sappiamo che non sono gli angoli dei triangoli formati dai vertici scelti sulla superficie del suolo che fa duopo conoscere, sibbene gli angoli dei triangoli che loro corrispondono sul prolungamento della superficie dei mari (104); pertanto la misura di ciascun angolo sulla superficie del suolo fu accompagnata dalla misura dell'angolo che ciascuno de' suoi lati faceva colla verticale del luogo dove trovavasi collocato. Conosciuti questi due ultimi angoli, si potè calcolarne la piccola correzione da applicarsi al primo onde ridurlo ad essere l'angolo corrispondente preso sul prolungamento della superficie dei mari.

Conosciuti così tutti gli angoli dei diversi triangoli della rete e la lunghezza della base di Melun, si poterono calcolare le lun-

(*) Vedi la nota a pag. 97.

ghezze di tutti gli altri lati della rete, come pure le porzioni della meridiana di Dunkerque comprese in essi (104).

Deducendosi le lunghezze dei diversi lati le une dalle altre per successivi calcoli, riusciva importantissimo verificare alla fine se esatti erano gli ultimi risultati, tanto per assicurarsi che non si erano commessi errori in questa lunga serie di calcoli, quanto per farsi un'idea del grado d'influenza che i piccolissimi errori, inevitabili nella misura degli angoli, potevano avere sui risultati finali. A tal uopo si misurò direttamente una seconda base vicino a Perpignano, vale a dire verso l'estremità sud della serie dei triangoli. La lunghezza di questa seconda base ridotta al livello del mare venne trovata di tese 6 006,25. Confrontando la lunghezza così ottenuta con quella della stessa base dedotta dai successivi calcoli de' quali abbiamo parlato, si trovò fra i due risultati la sola differenza di 10 pollici, 8 linee ($0^m,288$). Una differenza così piccola sopra una lunghezza maggiore di 6 000 tese è tale da far maraviglia, sopra tutto se si riflette alla gran distanza che separa la base di Melun da quella di Perpignano, distanza che è maggiore di 450 000 tese. Tale mirabile accordo tra il risultato del calcolo e la misurazione diretta della seconda base fa vedere con quanta cura erano state eseguite tutte le operazioni (*).

La lunghezza totale dell'arco di meridiana così misurato da Dunkerque fino al forte di Montjoui, vicino a Barcellona, è di tese 551 583,6. La latitudine dell'estremità nord di quest'arco è di 51° 2′ 8″, 5; quella dell'estremità sud di 41° 21′ 46″, 6; l'angolo formato dalle verticali condotte a queste due estremità è dunque di 9° 40′ 21″, 9 (**).

(*) In conseguenza di un nuovo confronto fatto fra la misurazione delle due basi di Melun e Perpignano nella circostanza della triangolazione generale della Francia, il signor Puissant ebbe ad annunziare all'Accademia delle Scienze di Parigi che *questo nuovo confronto, lungi dal confermare l'accordo già riconosciuto, e dovuto forse a circostanze fortuite, ha fatto rilevare una differenza non trascurabile,* giacchè la base di Perpignano dedotta da quella di Melun risultò minore di metri 1,82 della sua misura effettiva.

(**) Alla fine dello scorso secolo, a fondamento di una esatta carta topografica dei ducati di Milano e di Mantova, vennero incaricati gli astronomi di Milano di farne la triangolazione. A questo scopo nel 1788, nell'incolta pianura che fiancheggia la sponda orientale del Ticino ed è è chiamata *brughiera,* fu misurata la *base;* nel processo della triangolazione poi fu tracciata anche la porzione di meridiana passante per l'agguglia del Duomo, e che era compresa entro i confini del ducato medesimo di Milano. La misurazione della base venne eseguita due volte, e

106. **Risultati delle diverse misurazioni.** — Dappoi che Huyghens e Newton, dietro considerazioni teoriche, furono condotti ad annunciare che la superficie della terra non era sferica, ma schiacciata verso i poli, s'intrapresero delle misurazioni su questa superficie per verificare ciò che era stato indicato dalla teoria. Le prime operazioni di tal genere furono eseguite in Francia; ma il risultato fu ben lungi dall'essere concludente quanto lo si desiderava, giacchè la tenue differenza tra le lunghezze d'un arco di un grado preso al nord ed al mezzodì della Francia trovavasi completamente occultata dagli errori inevitabili delle osservazioni. L'Accademia delle scienze pertanto si decise di far misurare due archi di meridiana l'uno verso l'equatore, l'altro il più vicino possibile al polo boreale; e queste misure, effettuate da una parte al Perù da Bouguer e Lacondamine, e dall'altra in Laponia da Clairaut, Outhier e Maupertuis, non lasciarono più dubbio alcuno sulla quistione. Essendosi ritrovato l'arco di un grado notabilmente più piccolo al Perù che in Laponia, fu messo pienamente in evidenza lo schiacciamento della terra.

Alla fine dell'ultimo secolo, quando la Convenzione nazionale volle che in tutta la Francia si adottasse un sistema uniforme di pesi e misure, decise pure che l'unità di lunghezza, la quale doveva costituire la base del nuovo sistema di pesi e misure, fosse tale d'avere un semplice rapporto colle dimensioni della terra; ordinò quindi che si procedesse alla misura la più esatta possibile di queste dimensioni, per poi dedurne la grandezza della nuova misura di lunghezza. E fu in esecuzione degli ordini della Convenzione che Delambre e Méchain compierono la misura dell'arco di meridiana compreso tra Dunkerque e Barcellona, misura sulla quale abbiamo dato alcuni particolari nel numero antecedente. Si misurarono dappoi due altri archi della stessa me-

la media di esse risultò di tese francesi 5130,51 (9999^{m},543); e siccome la media altezza della base sul livello del mare, dedotta da svariate osservazioni, era di tese 116,27 (226^{m},614), così la lunghezza della base ridotta al livello del mare fu di tese 5130,32 (9999,^{m}187).

Questa misurazione venne eseguita per mezzo di tre pertiche di ferro, sulla superficie superiore di ciascuna delle quali è segnata la lunghezza di 12 piedi o della doppia tesa con una sottil linea trasversale che ne comprende tutta la larghezza. Il processo impiegato si scosta ben poco da quello usato da Delambre e Méchain.

A rendere invariabilmente fissi gli estremi della base, nell'autunno del 1833, ricercati accuratamente i vecchi termini, che si trovavano sepolti, vi si innalzarono due piramidi quadrilatère di granito.

ridiana; l'uno dei quali, situato al nord, stendesi da Dunkerque fino al parallelo di Greenwich. e l'altro, al sud, stendesi da Bar-

La figura 181 porge quella porzione di triangolazione del vecchio ducato di Milano che racchiude la meridiana tracciata, e serve a collegarla alla base.

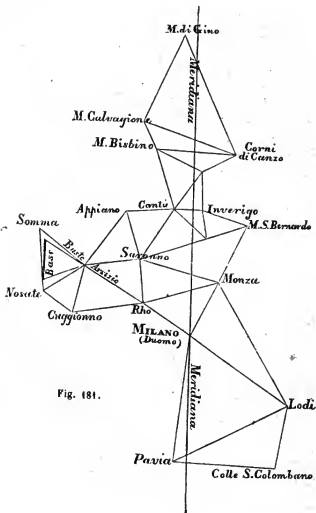



Fig. 181.

cellona fino alla piccola isola di Formentera: la misura di quest'ultimo arco venne eseguita dai signori Biot ed Arago. L'insieme di queste tre operazioni ha somministrato pertanto la lunghezza di tutta la parte della meridiana di Dunkerque compresa tra i paralleli di Greenwich e di Formentera; e quest'arco di meridiana, le cui verticali estreme comprendono tra esse un angolo di 12° 48′ 46″, 8, è il maggiore di quanti vennero misurati.

Basta da solo questo grand'arco per indicare che la terra è realmente schiacciata verso i poli; ed ecco infatti i risultamenti che esso somministra dividendolo in sei parti, e determinando a lunghezza dell'arco di 1° per ciascuna di queste sei parti, come abbiamo spiegato precedentemente (102).

NOMI DELLE STAZIONI	LATITUDINI MEDIE	LUNGHEZZA DELL'ARCO DI 1°
Formentera.	40° 0′ 50″	56 955^{l},38
Montjouy.	42° 17′ 29″	56 960 ,46
Carcassona.	44° 41′ 49″	56 977 ,36
Evaux.	47° 30′ 46″	57 069 ,31
Panteon.	49° 56′ 29″	57 087 ,68
Dunkerque.	51° 15′ 25″	57 097 ,62
Greenwich.		

Da questo quadro si vede che la lunghezza dell'arco di un grado è tanto più grande quanto più elevata è la corrispondente latitudine; ciò che costituisce il carattere da cui, come abbiam detto, devesi riconoscere lo schiacciamento della terra. Ma tale aumento della lunghezza dell'arco di 1° a misura che si va allontanandosi dall'equatore terrestre per avvicinarsi ad uno dei poli è ben maggiormente messo in evidenza confrontando fra loro i risultamenti somministrati dalle operazioni di Francia e di Spagna, del Perù, della Laponia e d'altre località in cui vennero compiute operazioni di simil genere, come è mostrato dalla tavola seguente.

NOMI DELLE REGIONI	LATITUDINI MEDIE	LUNGHEZZA DELL'ARCO DI 1°
Perù.	1° 31′ 1″	56 736^{l},81
India.	12° 32′ 21″	56 762 ,30
Francia e Spagna. . . .	46° 8′ 6″	57 024 ,64
Inghilterra.	52° 2′ 20″	57 066 ,06
Laponia.	66° 20′ 10″	57 196 ,16

107. Non basta aver comprovato lo schiacciamento della terra dall'aumento che manifesta la lunghezza dell'arco di 1° a misura che si va discostandosi dall'equatore; ma è d'uopo cercare ancora se i risultati delle fatte misure s'accordano nell'indicare che la terra ha effettivamente la forma d'un ellissoide di rivoluzione, vale a dire se l'incremento di lunghezza dei gradi, andando dall'equatore ai poli, segue veramente la legge che dovrebbe seguire nel caso in cui i diversi meridiani della terra fossero tutti delle ellissi fra loro eguali.

Per giungere a ciò consideriamo le lunghezze di due archi di 1° compresi nella precedente tavola, per esempio, quelle degli archi del Perù e di Francia: conosciute le lunghezze di questi due archi e le latitudini cui essi corrispondono, si hanno dati sufficienti per determinare la forma dell'ellisse meridiana della terra nell'ipotesi in cui la terra avesse realmente la forma d'un ellissoide di rivoluzione: non vi ha infatti che una sola ellisse per la quale gli archi di 1° corrispondenti alle latitudini di cui si tratta abbiano precisamente lunghezze eguali a quelle trovate. Determinata quest'ellisse, ricorrendo a mezzi che qui non possiamo indicare, si trova che il suo semi-asse maggiore, ovvero il raggio dell'equatore terrestre, dev'essere eguale a tese 3 271 985,33, e che la differenza tra questo semi-asse maggiore e il semi-asse minore, vale a dire tra il raggio dell'equatore e quello che va ad uno dei poli della terra, è eguale a tese 10 631,14; per modo che il rapporto che esiste tra questa differenza e il semi-asse maggiore, rapporto che dicesi *schiacciamento*, ha per valore $\frac{1}{307,77}$.

Consideriamo ora due altri archi di 1°, quello di Francia e quello di Laponia, e operiamo alla stessa maniera. Se la terra ha effettivamente la figura di un ellissoide di rivoluzione, dovremo arrivare ai medesimi risultati. Ora determinata l'ellisse meridiana della terra per mezzo di questi due nuovi archi, si trova che il semi-asse maggiore della ellisse dev'essere eguale a tese 3 271 749,24; che la differenza tra il semi-asse maggiore e il semi-asse minore dev'essere di tese 10 236,87, ed in conseguenza lo schiacciamento è eguale a $\frac{1}{319,66}$.

Questa seconda combinazione non fornisce gli stessi numeri della prima; e ciò accadrebbe anche determinando le dimensioni della ellisse meridiana della terra per mezzo d'altre combinazioni fra i diversi risultati contenuti nel secondo dei quadri qui sopra esposti. È d'uopo adunque conchiudere che la superficie della terra non ha esattamente la figura di un'ellissoide di rivoluzione; giacchè le differenze che esistono tra i diversi valori ottenuti pel

semi-assè maggiore e per lo schiacciamento, per quanto poco considerevoli, pure sono troppo grandi per poter essere attribuite ad errori d'osservazione.

108. È facile rendersi ragione delle irregolarità che presenta la superficie della terra, per le quali, sebbene di pochissimo, si allontana dalla forma ellissoidale che ad essa assegna la teoria. Il prolungamento della superficie dei mari attraverso ai continenti, a cui vengono riferite tutte le misure, è da per tutto diretto perpendicolarmente alla verticale, vale a dire alla direzione del filo a piombo. Se per qualsivoglia causa accidentale si modifica leggerissimamente la direzione del filo a piombo in un luogo della terra, anche la direzione della superficie dei mari verrà affetta dalla medesima causa in vicinanza a questo luogo, e ne deriverà un'irregolarità in questa superficie.

Consideriamo, per esempio, quanto accade in vicinanza d'una montagna M (fig. 182). Sia A B la direzione che prenderebbe il filo a piombo se la montagna non esistesse; per la presenza di essa assumerà una direzione alquanto diversa A B'; giacchè, conformemente alla legge della gravitazione universale scoperta da Newton, e di cui parleremo più tardi, la massa della montagna attira a sè il corpo pesante sospeso all'estremità inferiore del filo a piombo, precisamente alla stessa maniera che una calamita attira un pezzo di ferro. Questo corpo non può cedere completamente all'attrazione della montagna, poichè l'attrazione che prova da parte della massa intiera della terra tende a mantenere il filo a piombo nella direzione A B; ma ne risulta sempre un leggiero cambiamento di direzione di questo filo nel verso indicato. Dall'altra parte della montagna, in C, il filo a piombo proverà una deviazione in verso contrario; ed in luogo di essere diretto secondo C D, come avverrebbe se la montagna M non esistesse, s'inclina alquanto verso di essa secondo C D'. La superficie dei mari prova in conseguenza una corrispondente deviazione; e per essere perpendicolare alle verticali A B', C D' è d'uopo che presenti un'ondulazione quale *m m' m''*.

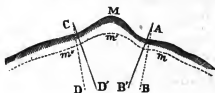



Fig. 182.

Vedesi da ciò che, quantunque non tengasi conto della irregolarità della superficie dei continenti nelle misurazioni che hanno

per iscopo la determinazione della figura della terra, e si riferiscano queste misure alla superficie ideale secondo cui il mare porrebbesi in equilibrio se potesse penetrare da per tutto, tali irregolarità si manifestano per altro mediante l'influenza da esse esercitata sulla forma di questa superficie ideale. Dovunque esiste una catena di montagne, il prolungamento della superficie dei mari presenta una corrispondente ondulazione, sebbene molto meno pronunciata. Comprendesi pure che la ineguale distribuzione delle densità delle materie componenti la crosta esteriore della terra basta per determinare delle ineguaglianze di simil genere sulla superficie dei mari.

La misura d'un arco di meridiana effettuata in Italia dai signori Plana e Carlini (*) somministra un esempio rimarchevole della deformazione che una catena di montagne può apportare sul prolungamento della superficie dei mari che passa al di sotto di questa catena. L'arco di cui si tratta, compreso fra Andrate e Mondovì, è situato vicino al versante meridionale delle Alpi. L'angolo compreso tra le verticali estreme è di 1° 7′ 27″; la lunghezza dell'arco di 1° che venne desunta è di 57 687 tese, e quest'arco corrisponde a una latitudine media di 44° 57′ 29″: se tutti i meridiani avessero la forma della ellisse dedotta dalla combinazione delle operazioni di Francia e del Perù (107), l'arco di un grado a questa latitudine media avrebbe una lunghezza di tese 57 013: l'enorme differenza di 674 tese tra il risultato della misurazione e quella cui conduce questa ellisse deriva dalla presenza della catena delle Alpi. Questa catena agisce per attrazione sul filo a piombo a ciascuna delle estremità dell'arco misurato dai signori Plana e Carlini; ma la sua azione è molto più forte all'estremità nord che all'estremità sud di quest'arco, per cui tende a diminuire l'angolo formato dalle verticali estreme dell'arco, come facilmente s'intenderà, e per conseguenza ad aumentare la lunghezza dell'arco di 1° che si ottiene dividendo la lunghezza totale dell'arco misurato per l'angolo delle verticali estreme (102).

Ora si comprende perchè i risultati delle misure compiute nei diversi luoghi della terra non s'accordano nel somministrare le medesime dimensioni per la ellisse meridiana, quando si combinano tra esse in differenti maniere; le irregolarità delle quali abbiam comprovata l'esistenza s'oppongono a che quest'accordo si verifichi pienamente. Non prendendo per altro in considerazione

(*) La misurazione operata dai signori Plana e Carlini qui citata non riguardava già un arco di meridiana, sibbene *un arco del parallelo medio*.

gli archi misurati in circostanze eccezionali ed evidentemente svantaggiose, quale sarebbe l'arco d'Italia di cui abbiamo parlato, si riconosce che il disaccordo è pochissimo importante; per modo che, fatta astrazione dalle accidentali irregolarità della superficie dei mari, come già si è fatta astrazione da quelle molto più forti che presenta la superficie dei continenti, si può dire che nel suo insieme la terra ha la forma di un'ellissoide di rivoluzione.

109. **Dimensioni della terra; valore del metro.** — Compiuta da Delambre e Méchain la misurazione dell'arco di meridiana compreso tra Dunkerque e Barcellona, una commissione di dotti francesi e stranieri fu incaricata di stabilire un nuovo sistema di pesi e misure appoggiandosi ai risultati di questa grande operazione. La commissione, combinando questi risultati con quelli precedentemente ottenuti al Perù e nella Laponia, adottò come ellisse meridiana della terra quella che corrispondeva ad uno schiacciamento di $\frac{1}{334}$, e il cui quarto aveva la lunghezza di 5 130 740 tese. La diecimilionesima parte di questo quarto di meridiano terrestre fu scelta per formare la nuova unità di lunghezza, alla quale si diede il nome di *metro*. Il valore del metro fu dunque fissato a tese 0,513 074, ovvero 3 piedi, 11 linee e 296 millesimi di linea (è noto che la tesa si divideva in 6 piedi, il piede in 12 pollici e il pollice in 12 linee).

Si riconobbe in seguito, dalla discussione delle misure tanto antiche che recenti eseguite in diversi luoghi della terra, che lo schiacciamento adottato per giungere alla determinazione della lunghezza del metro era troppo tenue; l'insieme di queste misure fa vedere infatti che lo schiacciamento della terra dev'essere press'a poco di $\frac{1}{299}$. Questa modificazione nel valore dello schiacciamento ne apporta una corrispondente nella lunghezza del quarto dell'ellisse meridiana, la quale, invece di essere di 10 milioni di metri, è un po' più grande e contiene 10 000 856 metri. Il semi-asse maggiore di questa ellisse meridiana, che altro non è che il raggio dall'equatore terrestre, ha una lunghezza di 6 377 398 metri; il semi-asse minore della ellisse, vale a dire il raggio della terra che va ad uno dei poli, è uguale a 6 356 080 metri; la differenza fra questi due raggi è dunque di 21 318 metri, vale a dire un poco maggiore di 5 leghe da 4 chilometri ciascuna.

È facile il farsi un'idea netta dello schiacciamento della terra imaginando costruito un globo che rappresenti esattamente la sua forma. Se il diametro dell'equatore di questo globo fosse d'un metro, il diametro condotto da un polo all'altro non do-

vrebbe differire dal primo che di $\frac{1}{299}$ di metro, vale a dire di un po' più di 3 millimetri, e non vi sarebbe che un millimetro e mezzo di differenza tra il raggio maggiore e il raggio minore di questo globo. Vedesi immediatamente che un tale schiacciamento sarebbe affatto insensibile all'occhio, e non si potrebbe giungere a verificarlo che per mezzo di misurazioni precise.

Quantunque la lunghezza del quarto di meridiano, per tutto quanto fu detto, contenga realmente un po' più che 10 milioni di metri, la differenza, che non arriva ad un chilometro, è abbastanza piccola perchè non se n'abbia a tener conto tutte le volte che non trattisi di giungere a risultati di grandissima precisione. Si può anche, il più delle volte, far astrazione dallo schiacciamento, e considerare la terra come una sfera la cui circonferenza è di 40 000 chilometri e il raggio di 6 366 chilometri.

Dalla lunghezza trovata pel quarto del meridiano terrestre risulta che il medio valore dell'arco di 1 grado su questo meridiano è di 111 120^{m},6; l'arco di 1 minuto è di 1 852^{m}, e l'arco di 1 secondo di 30^{m},9 (*).

Quest'ultimo numero fa vedere che quando s'indica la latitudine geografica di un luogo con tutta quella precisione che comporta la determinazione delle latitudini è necessario di far

(*) Secondo la divisione centesimale del cerchio l'arco di meridiano di un grado è di 100 108^{m},56, l'arco di un minuto di 1000^{m},86 e quello di un secondo di 10^{m}. Che se il metro fosse esattamente la diecimilionesima parte del quarto del meridiano, l'arco di un grado sarebbe di 100 000 metri, ovvero di 10 miriametri, quello di un minuto di 1000 metri o di un chilometro, e quello di un secondo di un decametro. Da ciò possiamo vedere come nella divisione centesimale della circonferenza trovisi il vero fondamento a tutto il sistema metrico decimale, come abbiamo detto altra volta (vedi la nota a pag. 68), essendosi preso il metro di tal lunghezza che nel numero di chilometri rappresentante la distanza di due punti della superficie terrestre si avesse pure il numero di minuti primi centesimali di cui è costituito l'arco di circolo massimo sul quale la distanza medesima è valutata. Basterebbe per altro ritenere che il campione di platino che si custodisce a Parigi rappresenti il metro alla temperatura di + 12° C invece che a 0° C come volevasi in origine, ed il metro medesimo sarebbe ricondotto al primitivo semplicissimo rapporto col meridiano terrestre.

La medesima relazione esistente fra l'arco di meridiano di un minuto centesimale e il chilometro si riscontra evidentemente tra l'arco di meridiano di un minuto sessagesimale e il miglio geografico italiano da sessanta al grado.

ben conoscere a qual punto in particolare si riferisce questa latitudine, poichè poco farebbe d'uopo spostarsi per ottenere nella latitudine la variazione d'un secondo. Gli è perciò che si dice che la latitudine del luogo ove trovansi collocati il cannocchiale meridiano e i due circoli murali dell'Osservatorio di Parigi è di 48° 50′ 11″, numero che non potrebbe applicarsi indifferentemente ad altro punto della città di Parigi, nemmeno alle estremità nord e sud del terreno che dipende dall'Osservatorio. Dal nord al sud della città di Parigi la latitudine varia di parecchi minuti (*).

110. **Globi terrestri.** — Si costruiscono dei globi che rappresentano la terra, e sui quali trovasi l'indicazione delle diverse particolarità che presenta la sua superficie, come i continenti, i fiumi, le montagne, le città, ecc. Tali globi, cui si dà il nome di *globi terrestri*, non possono rendere sensibile agli occhi la differenza che esiste tra la superficie della terra e una superficie perfettamente sferica, siccome or fa un istante abbiamo spiegato (109); per ciò non si dà loro una forma diversa di quella di una sfera. D'ordinario si montano sopra un asse che ne attraversa la superficie ai due poli, e le due estremità di quest'asse sono sostenute da un apparecchio formato di cerchi montati su di un piede affatto simile a quello che abbiamo già veduto pei globi celesti (fig. 135, pag. 154). Per mezzo di questa disposizione si può far ruotare il globo intorno al suo asse in guisa da potere esaminare a proprio beneplacito tutte le parti della superficie; il moto di rotazione che in questo modo gli si dà è d'altra parte l'imagine del moto di cui la terra è animata intorno alla linea dei poli, come abbiamo riconosciuto precedentemente (74).

La costruzione d'un globo terrestre si eseguisce senza difficoltà cogli stessi processi che abbiamo insegnato per la costruzione dei globi celesti (91). Siccome la longitudine e la latitudine d'un luogo sulla terra corrispondono all'ascensione retta e alla declinazione di un astro sulla sfera celeste, così si possono impiegare esattamente alla stessa maniera per rappresentare sul globo i diversi oggetti che vi si vogliono figurare. Essendo il globo montato su di un asse intorno al quale può ruotare, si traccia sulla sua superficie la periferia del cerchio massimo, il cui piano sia perpendicolare all'asse, e questo circolo massimo

(*) Egualmente per Milano la latitudine di 45° 28′ 0″ è quella che corrisponde all'Osservatorio di Brera; la latitudine dell'aguglia del Duomo è di 45° 27′ 35″.

rappresenta l'equatore terrestre. Preso ad arbitrio su quest'equatore un punto destinato a servire d'origine alle longitudini, si porta sull'equatore, a partire da questo punto e nell'opportuna direzione, un arco eguale alla longitudine del luogo di cui si vuol trovare sul globo il corrispondente posto; il cerchio massimo passante per l'estremità di quest'arco e pei due poli rappresenta il meridiano di questo luogo, su cui non si ha più che portare dall'una o dall'altra parte dell'equatore una distanza eguale alla latitudine del luogo medesimo.

I globi terrestri non hanno, come i celesti, l'inconveniente d'invertere gli oggetti e di farli vedere per così dire al rovescio; la loro superficie noi l'osserviamo dall'esterno, come dall'esterno osserviamo le diverse particolarità che presenta la superficie della terra.

111. Carte geografiche. — Le carte geografiche sono destinate a rappresentare su di una superficie piana delle porzioni più o meno estese della superficie della terra; ciò che non può ottenersi senza produrre delle deformazioni in certe parti, come abbiamo già osservato all'occasione delle carte celesti (92); e cercasi naturalmente di costruire le carte geografiche in guisa di attenuare per quanto è possibile queste deformazioni. Tra le diverse disposizioni a tal uopo imaginate faremo conoscere quelle più usitate, cercando d'indicare altresì le proprietà speciali a ciascuna di esse.

La prima cosa da farsi per costruire una carta geografica è di formarne la *rete*. Chiamasi così un complesso di linee rette o curve, incrociantisi per tutta l'estensione della carta, e che rappresentano le une una serie di meridiani equidistanti, le altre una serie di paralleli pure fra loro equidistanti. Questa rete divide la carta in un numero bastantemente grande di scompartimenti, in ciascuno dei quali si collocano senza fatica gli oggetti che devono esservi figurati, sia copiandoli da un globo celeste già costruito, sia disponendoli direttamente sulla carta dietro i valori delle loro longitudini e latitudini. Da ciò è chiaro che per noi basta far conoscere la costruzione della *rete* per ciascuna specie di carta.

112. Per figurare tutta la superficie della terra sopra una sola carta, in modo da poterne d'un colpo d'occhio abbracciare tutto l'insieme, si costruisce ciò che si chiama un *mappamondo*. Per ciò s'imagina che la terra sia divisa in due emisferi da un meridiano, e si rappresentano a fianco una dell'altra le superficie di questi due emisferi.

La rappresentazione di ciascun emisfero può eseguirsi in diverse maniere. Potrebbesi, per esempio, abbassare da ciascun punto della sua superficie una perpendicolare sul piano del meridiano al quale esso termina, e ritenere il piede della perpendicolare come rappresentante su questo piano il punto donde essa venne abbassata. In questo sistema, designato sotto il nome di *projezione ortografica*, tutti i paralleli sono rappresentati sulla carta per mezzo di linee rette fra loro parallele; e i meridiani lo sono per mezzo di ellissi aventi tutte lo stesso asse maggiore, e i cui assi minori variano secondo l'obliquità maggiore o minore dei meridiani ai quali esse corrispondono (fig. 183). Questo sistema di rappresentare un emisfero presenta un grave inconveniente, per cui non viene usato; ed è che, le parti dell'emisfero situate vicino al meridiano al quale esso termina sono figurate in iscorcio, e che le forme che esse affettano sulla carta non possono dare per nulla un'idea delle loro forme reali.

Fig. 183.

Ad ottenere una carta che non presenti questo difetto s'imaginò il sistema della *projezione stereografica*. Con questo sistema, in luogo di abbassare da un punto qualunque A dell'emisfero (fig. 184) una perpendicolare sul piano del meridiano M M che gli serve di limite, si congiunge questo punto A coll'estremità O del diametro della sfera che è perpendicolare al meridiano M M, e si prende il punto *a*, in cui la retta A O taglia il piano M M, come rappresentante il punto A su questo piano. Con ciò la figura B appartenente alla superficie dell'emisfero trovasi rappresentata sulla carta dalla figura *b*, il cui contorno altro non è che l'intersezione del piano M M e della superficie conica avente per vertice il punto O e per base il

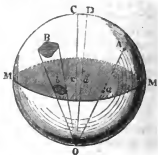



Fig. 184.

contorno di B. Le rette analoghe ad A *a*, che congiungono i punti dell'emisfero coi punti corrispondenti della carta, sono tanto più oblique rispetto al piano della carta quanto più partono da punti più vicini ai lembi dell'emisfero; per cui deriva che il raccorciamento che nella projezione ortografica esiste verso i lembi della carta, qui non ha luogo, ciò che appunto si voleva ottenere.

La projezione stereografica gode di due proprietà importanti che annuncieremo senza dimostrare. La prima consiste in ciò che qualunque cerchio della sfera, sia esso un meridiano, un parallelo, od anche un altro cerchio comunque collocato, è rappresentato sulla carta da un cerchio (*); la seconda che l'angolo formato da due linee che tagliansi sulla sfera è uguale a quello che formano le linee che le rappresentano sulla carta (ed è noto che dicesi angolo di due linee curve l'angolo compreso dalle tangenti a queste curve condotte pel punto in cui esse si tagliano).

Mediante la prima proprietà si può facilissimamente formare la rete della carta, poichè questa rete, costituita dalla rappresentazione di un certo numero di meridiani e paralleli, non risulta composta che di archi di cerchio.

La seconda proprietà ne trae seco un'altra della maggiore importanza, ed è che qualunque figura di piccole dimensioni sull'emisfero è rappresentata da una figura simile sulla carta. Ciò deriva dal potersi questa figura della sfera considerare come piana a cagione della sua piccolezza, per cui tutti i triangoli ne' quali si può decomporla sono rappresentati sulla carta da triangoli che hanno gli stessi angoli dei primi, e che per conseguenza sono simili ad essi: l'insieme di questi triangoli sulla sfera forma dunque una figura simile a quella che formano i triangoli corrispondenti sulla carta. Così la projezione stereografica non deforma le piccolissime figure, comunque esse trovinsi sull'emisfero; tutte le dimensioni d'una tale figura sono ridotte nello stesso rapporto. Ma questo rapporto, secondo il quale la riduzione vien fatta, varia colla posizione che la figura occupa sull'emisfero: al lembo della carta non havvi riduzione alcuna, perchè le parti del meridiano, che è il limite dell'emisfero, conservano evidentemente le loro grandezze sulla carta:

(*) Fanno eccezione a questa legge i circoli massimi passanti pel vertice D (fig. 184), che si projettano tutti secondo linee rette; così la semiperiferia M D si projetta secondo la retta M M.

al centro, al contrario, le dimensioni sono tutte ridotte della metà, poichè la linea *c d* (fig. 184) è evidentemente la metà della linea C D.

Sulla figura 185 vedesi qual è la disposizione della rete d'un *mappamondo* costruito dietro il sistema della projezione stereo-

Fig. 185.

grafica: i meridiani e i paralleli vi sono tutti rappresentati per mezzo di archi di cerchio che dovunque s'incontrano ad angolo retto, come sulla sfera, dietro la seconda delle proprietà qui sopra enunciate.

115. Nella costruzione delle carte particolari, destinate a rappresentare solo una porzione della superficie della terra, come l'Europa od uno degli Stati che la compongono, cercasi, per quanto è possibile, di conservare le forme quali esistono sulla terra; ma cercasi sopra tutto di non alterare i rapporti d'estensione superficiale tra le diverse parti della regione che si vuol figurare. Ecco in che cosa consiste il sistema che meglio soddisfa a queste due condizioni, e che venne per conseguenza adottato nella costruzione della gran carta di Francia che il ministro della guerra ha pubblicato alcuni anni sono.

Sia M N (fig. 186) la porzione della superficie della terra che si vuol rappresentare sulla carta, e che supporremo già figurata su di un globo. Si comincia dallo scegliere un meridiano B A C e un parallelo D A E che l'attraversano passando presso a poco pel suo mezzo. Il meridiano medio B A C viene rappresentato sulla carta da una linea retta *b a c* (fig. 187): per avere la rappresentazione del parallelo medio che si vuol far passare pel punto *a*, si conduce in A la tangente A O al me-

ridiano medio, si prende la porzione di questa tangente compresa tra il punto A ed il punto O in cui essa taglia l'asse P Q

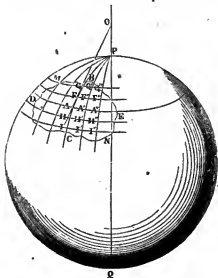



Fig. 186.

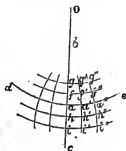



Fig. 187.

del globo, e la si porta in *a o* sulla retta *b a c*, a partire dal punto *a*; finalmente dal punto *o* come centro descrivesi l'arco di cerchio *d a e*, che rappresenta il parallelo medio sulla carta. Per avere poi gli altri paralleli si portano sulla retta *b a c* le distanze *a f*, *a g*, *a h*, *a i*,... rispettivamente uguali alle lunghezze A F, A G, A H, A I,... degli archi del meridiano medio compresi tra il punto A e i diversi paralleli; poi dal punto *o* come centro descrivonsi degli archi di cerchio passanti pei punti *f*, *g*, *h*, *i*... Non rimane più che figurare i meridiani situati dall'una e dall'altra parte del meridiano medio; a tale scopo si portano sulle circonferenze di cerchio che rappresentano i paralleli, ed a partire dalla retta *b a c* che corrisponde al meridiano medio, degli archi *a a'*, *a a''*,... *f f'*, *f f''*,... *g g'*, *g g''*,... *h h'*, *h h''*,... rispettivamente uguali in lunghezza agli archi A A', A A'',... F F', F F'',... G G', G G'',... H H', H H'',... compresi sul globo tra il meridiano medio e gli altri meridiani; si tracciano quindi pei punti così ottenuti delle linee curve *g' f' a' h' i'*, *g'' f'' a'' h'' i''*,... che rappresentano i meridiani G' F' A' H' I', G'' F'' A'' H'' I''...

In questo sistema di sviluppo di una porzione più o meno grande della superficie della terra, l'estensione superficiale delle diverse parti non è per nulla alterata, vale a dire quelle region

che sulla terra hanno uguali superficie occupano parimenti superficie uguali sulla carta. Per persuadercene basterà confrontare uno qualunque degli scompartimenti formati dalla rete della carta col corrispondente scompartimento preso sul globo terrestre che ci ha servito a spiegare la sua costruzione Supporremo, ciò che sempre possiam fare, che i meridiani e i paralleli che compongono la rete sieno vicinissimi gli uni agli altri, in guisa che gli scompartimenti che ne derivano abbiano piccolissima estensione. Consideriamo, per esempio, sul globo la porzione di superficie F′ G′ G″ F″. Tagliandosi dovunque i meridiani e i paralleli ad angolo retto sul globo, questa porzione di superficie può essere considerata come un rettangolo, in cui F′ F″ è la base e F′ G′ l'altezza: questo rettangolo è rappresentato sulla carta colla figura *f′ g′ g″ f″*, la quale nemmeno essa è un rettangolo, giacchè i meridiani e i paralleli sulla carta non si tagliano generalmente ad angolo retto; ma questa figura *f′ g′ g″ f″* può essere considerata come un parallelogrammo avente per base *f′ f″* eguale a F′ F″ e per altezza la distanza dei due lati *f′ f″*, *g′ g″*, distanza che è misurata da *f g* eguale a F G, e per conseguenza eguale a F′ G′. Vediamo pertanto che il piccolo rettangolo F′ G′ G″ F″, e il piccolo parallelogrammo *f′ g′ g″ f″* sono eguali in superficie, avendo essi egual base ed eguale altezza; donde risulta che la carta rappresenta le diverse parti della regione M N, conservando a ciascuna di esse la stessa estensione superficiale che ha sul globo, vale a dire che le estensioni superficiali di queste diverse parti saranno proporzionali a quelle che hanno sulla superficie della terra.

A questa proprietà il sistema di sviluppo in discorso ne congiunge un'altra, qual'è quella di non deformare di molto la porzione della superficie della terra che rappresenta. Ce ne faremo un'idea gettando uno sguardo sopra una carta dell'Italia (*) costruita con questo sistema (fig. 188). Vedesi che l'angolo formato da un meridiano e da un parallelo nel loro punto d'incontro è dovunque poco diverso d'un angolo retto; quest'angolo è esattamente retto per tutti i punti d'incontro situati sul meridiano medio ***b a c***, o sul parallelo medio ***d a e***. E come i diversi scompartimenti della rete presentano perciò quasi esattamente la stessa forma che hanno sulla sfera, così accade lo stesso per le figure, qualunque esse siano, che sono tracciate in questi scompartimenti; ed è chiaro

(*) Alla carta della Francia esistente nel testo francese abbiamo creduto conveniente sostituire quella dell'Italia.

che la deformazione che ha luogo principalmente verso gli angoli della carta, sarebbe sempre più sensibile a misura che questa carta rappresentasse un'estensione maggiore di paese (*).

Fig. 188.

114. Le carte marine, delle quali fanno uso i naviganti nei loro viaggi, sono costruite in modo affatto differente; ecco in che cosa consiste il principio di loro costruzione. Imaginiamo che la

(*) Con simili carte si possono per altro abbracciare delle zone di 120° in 130° in longitudine, ed estendentisi per 60° in 70° di latitudine, senza che si producano sensibili deformazioni.

superficie intiera d'un globo che rappresenta la terra sia divisa in un gran numero di fusi della stessa larghezza per mezzo di meridiani fra loro equidistanti (fig. 189), e che abbiasi circoscritto un cilindro a questo globo lungo tutto l'equatore E E. Le generatrici di questo cilindro, corrispondenti ai diversi punti A, B C,... dell'equatore, saranno le tangenti A' A A'', B' B B'', C' C C'',... ai meridiani che passano per questi punti. Imaginiamo che venga staccato il semi-fuso A P B dalla superficie del globo, e che lo si raddrizzi per applicarlo sulla parte corrispondente A B B' A' del cilindro circoscritto; la larghezza del fuso diminuendo progressivamente dall'equatore al polo, non potrà coprire la zona cilindrica A B B' A' da un lembo all'altro, a meno che non la si allarghi d'una quantità opportuna in ciascun punto della sua lunghezza. Ma così allargandola si altererà la forma della porzione di fuso compresa fra i paralleli R S, T U, poichè si aumenteranno le lunghezze dei lati T U, R S di questa figura. Non havvi che un mezzo per impedire questa alterazione di forma, ed è d'aumentare nello stesso rapporto le lunghezze dei lati T R, U S. Allora la figura R' S' U' T' così ottenuta sul cilindro sarà simile alla figura R S U T alla quale essa corrisponde sul globo; poichè, potendo ciascuna di queste due figure essere considerata come un rettangolo, a cagione delle piccolissime loro dimensioni, hanno le loro basi e le loro altezze proporzionali.

Fig. 189.

Sviluppato così ogni semi-fuso sulla superficie del cilindro circoscritto al globo, in guisa che i diversi paralleli che l'attraversano s'allontanino gli uni dagli altri conformemente alla condizione che venne indicata, la porzione di semi-fuso situata vicinissima al polo P si troverà riferita a grandissima distanza dall'equatore E E sulla superficie del cilindro; e ce ne persuadiamo senza alcuna difficoltà osservando che un piccolo rettangolo

quale R S U T, vicino al polo P, prova un incremento considerevole in tutte le sue dimensioni, passando dalla sfera sul cilindro, incremento che tende a farsi in un rapporto sempre maggiore a misura che questo rettangolo è preso più vicino al polo. Il semi-fuso così trasformato coprirà dunque tutta la zona cilindrica A B B′A′ fino a una distanza infinita dall'equatore E E; e se istessamente si opera per tutti i semi-fusi di cui si compone la superficie intiera del globo, si vede che essi verranno ad occupare col loro insieme l'intiera superficie del cilindro circoscritto, la quale supponiamo estendersi indefinitamente al di sopra ed al di sotto dell'equatore E E. Imaginiamo ora che si apra la superficie del cilindro lungo una delle sue generatrici, e che la si sviluppi su di un piano; questo sviluppo, contenendo l'indicazione dei diversi oggetti notevoli che primitivamente erano segnati sul globo, costituirà una carta marina.

Pertanto è facile il vedere come risulti la rete d'una carta marina. Tutti i meridiani del globo s'applicano sul cilindro a seconda delle generatrici, e, mercè lo sviluppo del cilindro, divengono per conseguenza linee rette fra loro parallele e perpendicolari alla retta secondo la quale si sviluppa l'equatore; e queste rette parallele sono equidistanti le une dalle altre quando rappresentano dei meridiani equidistanti sul globo. I paralleli della sfera diventano sulla carta rette parallele all'equatore, e per conseguenza perpendicolari a quelle che rappresentano i meridiani; ma se questi paralleli sono fra loro equidistanti sulla sfera, più non lo sono sulla carta, ove le loro distanze aumentano sempre più a misura che corrispondono a più elevate latitudini.

La figura 190 può dare un'idea delle carte marine; essa rappresenta tutta la porzione della superficie della terra che stendesi dall'una e dall'altra parte dell'equatore, fino ai paralleli la cui latitudine è di 80 gradi: vi si nota facilmente il progressivo ingrandimento che provano le diverse parti della terra figurate su questa carta a misura ch' esse s'allontanano dall'equatore; si commetterebbero quindi gravi errori se si ricorresse a tali carte per confrontare i diversi paesi sotto il rapporto della loro estensione superficiale. Ma questo difetto delle carte marine è largamente compensato da una preziosa proprietà, per la quale vennero esclusivamente adottate pei viaggi marittimi, e che ora faremo conoscere.

Il più breve cammino da uno ad un altro punto sulla superficie di una sfera è l'arco di cerchio massimo che congiunge

questi due punti. Sembrerebbe adunque che i navigatori dovessero dirigersi sul mare secondo un arco di cerchio massimo

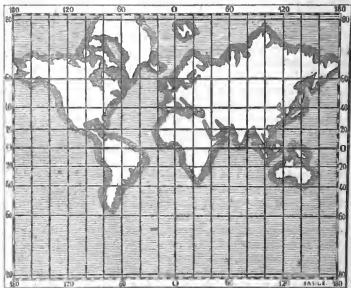



Fig. 190.

per arrivare allo scopo del loro viaggio; ma questo cammino circolare farebbe angoli differenti coi meridiani condotti pei suoi diversi punti, e ne risulterebbe una certa complicazione per dare ad ogni istante l'opportuna direzione alla nave. Riesce assai più comodo dirigersi in guisa da tagliare tutti i meridiani sotto lo stesso angolo; infatti, conosciuto una volta l'angolo sotto cui debbonsi tagliare per giungere in un determinato luogo, non si ha più che assicurarsi, mediante la bussola, che la direzione del cammino della nave fa costantemente quest'angolo conosciuto colla direzione del meridiano corrispondente ad ognuno dei punti del cammino percorso. La linea che per tal modo si descrive sul mare non è un arco di cerchio massimo, ma ne differisce assai poco, tanto che la differenza è trascurabile trattandosi anche di lunghissima escursione, e la lunghezza del cammino percorso non è molto maggiore di quella dell'arco di cerchio massimo che congiunge le due estremità di questo cammino. Questa linea curva, secondo la quale si dirigono i navigatori sul mare, porta il nome di *lossodromia*. È facile il

vedere qual forma prende una lossodromia sulle carte marine, costruite come abbiamo indicato. Una qualunque porzione di questa linea, compresa fra due meridani fra loro vicinissimi, può sempre essere considerata come la diagonale S T d'un piccolo rettangolo R S U T (fig. 189), formato dai meridiani e dai paralleli delle sue due estremità; questa porzione S T di lossodromia prenderà dunque la posizione S′ T′ sulla superficie del cilindro circoscritto; e siccome il rettangolo R′ S′ U′ T′ è simile al rettangolo R S U T, così essa farà col meridiano R′ T′ un angolo eguale a quello che farebbe col meridiano R T sulla sfera; la lossodromia pertanto che sulla superficie della sfera incontra tutti i meridiani sotto lo stesso angolo li incontrerà parimente sotto lo stesso angolo sulla superficie del cilindro circoscritto, e per conseguenza anche sulla carta che è lo sviluppo di questo cilindro. Ma i meridiani sono rappresentati sulla carta mediante linee rette fra loro parallele; e come non v'ha che una linea retta che possa incontrare tutte queste parallele sotto un medesimo angolo, così ne risulta che la lossodromia è necessariamente rappresentata sulla carta marina da una linea retta.

Sta in ciò la proprietà delle carte marine che volevamo far conoscere; e ben tosto si vede quanto per essa si rende agevole a' marinai il determinare la direzione ch' essi debbono dare al cammino del loro naviglio. Fissati bene sulla carta il punto in cui essi si trovano e quello cui vogliono pervenire, tracciano la retta che congiunge questi due punti; l'angolo che questa retta fa con una qualunque di quelle che rappresentano i meridiani è precisamente l'angolo sotto cui il cammino della nave deve tagliare i meridiani sulla superficie del mare. Comunemente la nave non segue a rigore la linea che le si vuol far seguire, sia perchè i mezzi impiegati a riconoscere la direzione del suo cammino non sono esattissimi, sia perchè trovasi lateralmente trascinata dalle correnti che esistono in molte parti dell'Oceano. Così, dopo aver navigato per qualche tempo, cercasi di determinare il luogo che si occupa sul mare per mezzo di osservazioni delle quali parleremo più tardi: trovata la longitudine e la latitudine di questo luogo, lo si segna sulla carta marina, e congiungendolo in linea retta col punto verso cui si è diretti, trovasi un nuovo valore dell'angolo sotto il quale il cammino della nave deve incontrare il meridiano, valore di cui si fa uso come precedentemente.

CAPITOLO TERZO

DEL SOLE

LEGGI DEL MOTO DEL SOLE

115. Dopo avere studiato il moto complessivo delle stelle, che vedemmo non essere che un'apparenza derivante dalla rotazione della terra intorno a sè stessa, ci occuperemo ora nella ricerca delle leggi del moto degli astri erranti, vale a dire di quegli astri che da principio abbiamo lasciati da parte, e che veggiam portarsi successivamente nelle diverse costellazioni del cielo. Fra gli astri erranti il sole è indubbiamente quello che più ne interessa, a cagione della grande influenza che esercita sulla nostra esistenza; giacchè dal trovarsi esso sopra o sotto l'orizzonte dipende la successione dei giorni e delle notti, ed è in conseguenza della legge del suo moto che vengono determinate quelle alternative di caldo e di freddo che costituiscono le nostre stagioni. Daremo dunque principio allo studio degli astri erranti cominciando da quanto si riferisce al sole.

116. **Il sole cambia di posizione fra le stelle. —** Per la gran luce che il sole diffonde nell'atmosfera della terra ci viene impedito di vedere di pieno giorno le stelle; non possiam dunque immediatamente riconoscere che esso dev'essere collocato nella classe degli astri erranti, poichè non possiamo confrontare la sua posizione nel cielo con quella delle stelle cui trovasi vicino. Gli è ben vero che coi cannocchiali si possono vedere le stelle più brillanti mentre il sole è sopra l'orizzonte; ma è d'uopo perciò che la loro distanza angolare da quest'astro sia almeno di 15 gradi, per cui non si può ricorrere a questo mezzo onde assicurarsi che il sole cambia posto sulla sfera celeste attraverso alle costellazioni di cui è seminata.

A prima giunta sembra che il sole muovasi in ciascun giorno unicamente in virtù del moto diurno, vale a dire che il suo

moto sia precisamente quello che avrebbe se fosse invariabilmente fisso alla sfera celeste e venisse da essa trascinato nel suo moto apparente intorno all'asse del mondo. Infatti noi lo veggiamo sorgere dalla parte d'oriente, poi sempre più elevarsi al di sopra dell'orizzonte, avvicinandosi nel tempo stesso al piano meridiano, attraversare questo piano e quindi allontanarsene avvicinandosi sempre più all'orizzonte, e tramontare infine dalla parte d'occidente; in una parola il suo moto apparente di ciascun giorno sembra affatto simile a quello di una delle stelle che veggiamo quando ci volgiamo dalla parte di mezzogiorno. Ma l'attenta osservazione delle circostanze che presenta il moto del sole fa vedere che esistono essenziali differenze tra questo moto e quello d'una stella, ed ecco in che cosa consistono queste differenze.

Se per più giorni di seguito osserviamo una medesima stella, ponendoci sempre nello stesso luogo, la vediamo sorgere costantemente al medesimo punto dell'orizzonte; e se dal luogo dove ci troviamo avemmo a segnalare un oggetto terrestre esattamente nella stessa direzione del punto ove la stella sorge il primo giorno, vedremo che anche nei giorni seguenti vi sarà la medesima coincidenza nella direzione, e ciò qualunque sia il numero dei giorni durante i quali una tale osservazione verrà ripetuta. Il sole al contrario sorge ora in un punto ora in un altro dell'orizzonte; e se un giorno lo veggiamo levarsi nella direzione d'un oggetto terrestre, il domani esso si leverà alquanto discosto da questa direzione, il giorno susseguente ancora un po' più lontano, e così di seguito. Il punto dell'orizzonte in cui il sole si leva sembra oscillare tra certi limiti; talora s'avvicina al nord, talora al contrario se ne allontana per avvicinarsi al mezzodì. Analoghe differenze si osservano confrontando il tramonto del sole col tramonto d'una stella; il primo ha luogo ora in una direzione ora in un'altra, mentre il secondo succede sempre nel medesimo punto dell'orizzonte.

Nell'istante in cui una stella arriva al punto più elevato della sua corsa diurna e attraversa il piano meridiano, la sua altezza al di sopra dell'orizzonte è sempre la stessa, qualunque sia il giorno in cui la si osserva in questa posizione. Ma non è così del sole, e tutti sanno che d'estate s'innalza al di sopra dell'orizzonte molto più che d'inverno.

Se osserviamo il cielo poco dopo il tramonto del sole, vi notiamo alcune stelle che trovansi vicine al punto dell'orizzonte ove il sole è scomparso; e se per parecchi giorni di seguito

ripetiamo una tale osservazione, riconosciamo che queste stelle all'istante in cui cominciamo a discernerle trovansi sempre più vicine all'orizzonte; ed in capo ad alcuni giorni non le veggiamo più, essendo esse già tramontate quando l'indebolimento della luce diffusa nell'atmosfera comincia a lasciar scorgere le stelle dalla parte d'occidente. Trascorsi alcuni giorni, osservando il cielo dalla parte d'oriente poco prima del nascere del sole, vi riveggiamo quelle medesime stelle che non avevamo più potuto osservare all'occidente dopo il tramonto di quest'astro; per cui sembrano essere passate dall'altra parte del sole, o piuttosto sembra che il sole siasi avanzato verso oriente rispetto ad esse.

È pertanto impossibile di considerare il sole come fisso frammezzo alle stelle e non soggetto nel corso di ciascun giorno ad altro moto che a quello derivante dal moto diurno della sfera celeste. Il continuo spostamento di quest'astro attraverso alle costellazioni è messo in evidenza dalle circostanze che abbiamo segnalate, come se non impedisse di scorgere le stelle che sono ad esso vicine e che lo si vedesse occupare successivamente diverse posizioni rispetto ad esse. Dobbiamo dunque considerare il sole come animato da due movimenti; movendosi esso sulla sfera celeste frammezzo alle stelle, ed insieme essendo trasportato dalla sfera nella sua rotazione intorno all'asse del mondo. Una mosca che cammini sulla superficie d'un globo, mentre lo si fa ruotare intorno a un suo diametro, può porgere una chiara idea di questo doppio movimento del sole.

Non essendo la rotazione diurna della sfera celeste che un'apparenza derivante dal moto rotatorio della terra intorno a sè stessa, possiamo far astrazione da questo moto e considerare il cielo quale lo vedremmo se la terra non ruotasse; le stelle allora ci apparirebbero affatto immobili, ma così non sarebbe del sole: esso sarebbe ancora animato del moto proprio la cui esistenza abbiamo ora riconosciuta, ed è un tal moto proprio del sole che ci faremo a studiare nei suoi particolari.

117. Osservazione del sole per mezzo dell'ombra che produce. — Ogni corpo opaco esposto ai raggi del sole impedisce il passaggio d'una parte di questi raggi; esiste per conseguenza dietro al corpo un certo spazio in cui non può penetrare alcuno dei raggi luminosi emanati direttamente dal sole: questo spazio è quanto dicesi l'ombra del corpo. L'ombra è resa sensibile agli occhi tutte le volte che la superficie d'un oggetto è situata in parte nell'interno di essa e in parte nello spazio ove arrivano i raggi solari; in questo caso ne colpisce il contrasto che esiste

tra l'aspetto della parte di questa superficie immersa nell'ombra e quello della parte illuminata dal sole. Essendo l'ombra d'un corpo sempre direttamente opposta al sole, si comprende come, dall'osservazione dell'ombra fatta in un istante qualunque, si possa conoscere la posizione occupata dal sole in questo istante nel cielo. Venne pertanto un tal mezzo d'osservazione pel sole impiegato lungo tempo, e lo è ancora attualmente tutte le volte che non trattasi di raggiungere una gran precisione.

Prima d'indicare la disposizione degli strumenti che vennero imaginati per osservare il sole mediante l'ombra da esso prodotta, è necessario di far conoscere una particolarità che presenta sempre quest'ombra, e che molto nuoce all'esattezza delle osservazioni. Sia A (fig. 191) una superficie su cui si projetta l'ombra d'uno schermo B; se il sole si riducesse a un semplice punto luminoso, come una stella, si troverebbe il limite laterale dell'ombra sulla superficie A, conducendo un piano per lo spigolo $m\ n$ dello schermo e per il sole, e determinando la linea secondo cui questo piano taglierebbe la superficie A. Ma la cosa non succede così: il sole ha dimensioni trasversali considerevoli, e se si conducono per lo spigolo $m\ n$ due piani che

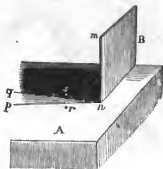



Fig. 191.

toccano il sole l'uno da una parte l'altro dall'altra, questi due piani comprendono un angolo che è lungi dall'essere nullo. Siano $n\ p$, $n\ q$ le intersezioni di questi due piani colla superficie A; egli è chiaro che un punto r situato fuori dell'angolo $p\ n\ q$ e dalla parte opportuna, potrà ricevere dei raggi luminosi dalla totalità della superficie del sole senza che lo schermo B vi si opponga in guisa alcuna; come pure che un punto siccome s, situato fuori dell'angolo $p\ n\ q$ ma dall'altra parte, non potrà ricevere luce da alcun punto della superficie del sole; chè se si considera un punto entro l'angolo $p\ n\ q$, questo riceverà dei raggi provenienti da una porzione soltanto della superficie del sole, porzione la cui grandezza varierà secondo che il punto sarà più o meno vicino all'uno o all'altro dei due lati dell'angolo $p\ n\ q$. Lo spazio compreso nell'angolo $p\ n\ q$ sarà dunque inegualmente illuminato nelle sue diverse parti; presenterà una

progressiva degradazione di luce da un lembo all'altro, e stabilirà un insensibile passaggio tra la parte della superficie A, che è illuminata dalla totalità del sole, e quella che al contrario non ne riceve alcun raggio di luce; questo spazio intermedio tra la luce e l'ombra dicesi *penombra*. Si vede che la sua larghezza è tanto più grande quanto più la si prende lontana dallo spigolo *m n* che l'ha generata; e ne risulta che l'ombra projettata da un corpo sopra una superficie è tanto meno netta e distinta sui suoi bordi quanto più il corpo è lontano dalla superficie, siccome tutti poterono verificare.

118. Tra le disposizioni imaginate per osservare il sole mediante l'ombra che produce citeremo dapprima le *armille* o cerchi di ottone, usati anticamente dagli astronomi d'Alessandria (fig. 192). Per trovare il momento in cui il sole veniva a porsi nel piano d'uno di questi cerchi bastava osservare l'istante preciso in cui la concavità della parte posteriore del cerchio era completamente nell'ombra prodotta dalla parte anteriore. A cagione della presenza della penombra, la larghezza dell' ombra pura, projettata in questo istante dalla parte anteriore del cerchio, era più piccola dello spessore del cerchio medesimo: così quest'ombra pura non poteva coprire intieramente la superficie interna della parte opposta; ma si riteneva che il sole era esattamente nel piano del cerchio quando l'ombra pura era nel mezzo dello spessore del cerchio, vale a dire quando le due porzioni di penombra che l'accompagnavano dall'una e dall'altra parte avevano la stessa larghezza.

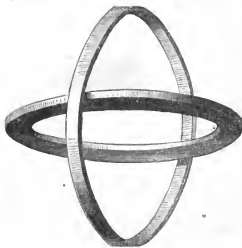



Fig. 192.

119. Un'altra disposizione, il cui uso venne molto diffuso, consiste nel fissare un'asta sottile in una particolare disposizione

a lato d'una superficie su cui l'asta deve projettare la sua ombra; l'osservazione della posizione che l'ombra dell'asta occupa su questa superficie fa conoscere la posizione corrispondente del sole nel cielo. Un simile strumento dicesi *gnomone*, e l'asta che produce l'ombra porta il nome di *stilo*.

Quando il gnomone è unicamente destinato a determinare la posizione che il sole occupa nel cielo in un istante qualunque, si dispone lo stilo verticalmente in un punto di una superficie piana e orizzontale su cui deve projettare la sua ombra (fig. 193). Non è che per soddisfare a certe condizioni speciali che si dà allo stilo un'altra direzione, come si vede sulla maggior parte dei nostri orologi solari, che sono veri gnomoni, e sui quali più tardi daremo alcuni sviluppi. Un gnomone, disposto come l'indica la figura 193, può condurre, rispetto al sole, esattamente ai medesimi risultati di un teodolite (47); può cioè somministrare, con una sola osservazione, l'azimuto e la distanza zenitale di quest'astro. Tracciata preventivamente una linea retta A C sulla superficie orizzontale che riceve l'ombra, ed a partire del piede dello stilo, l'angolo C A D, formato dalla direzione dell'ombra con questa linea retta, sarà precisamente l'azimuto del sole, contato a partire dal piano verticale B A C. Di solito si traccia la retta A C nella direzione del meridiano, in guisa che l'ottenuto azimuto è contato a partire da questo piano. Quanto alla distanza zenitale del sole, la si deduce dalla lunghezza A D dell'ombra dello stilo: conoscendo questa lunghezza, se ne può dedurre l'angolo B del triangolo rettangolo B A D, e in conseguenza la distanza zenitale apparente S B Z del sole, che è uguale a quest'angolo; non rimane più dunque che correggere questa distanza zenitale dall'effetto della rifrazione atmosferica per avere la distanza zenitale vera del sole.

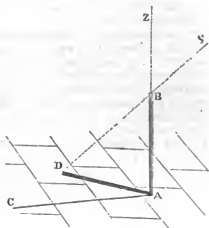



Fig. 193.

Per ottenere risultati d'una certa esattezza nella misura dell'azimuto e della distanza zenitale, mediante un gnomone, è d'uopo dare a questo gnomone dimensioni alquanto grandi. Ma a misura che s'aumenta la lunghezza dello stilo, e che per conseguenza la sua estremità superiore trovasi più lontana dall'ombra che projetta, cresce l'influenza della penombra, e cresce con essa l'incertezza che comporta l'osservazione dell'ombra. Così il grado d'approssimazione col quale la posizione del sole è data da un gnomone a stilo è lungi dall'essere paragonabile a quella che risulta dall'uso dei cerchi a cannocchiali, e in particolare del teodolite.

120. La penombra è la sola cagione dell'inesattezza delle osservazioni del sole fatte mediante il gnomone; se non vi fosse penombra, e per conseguenza l'ombra dello stilo fosse nettamente terminata per tutta la sua estensione, il gnomone acquisterebbe una gran precisione, e basterebbe dargli sufficienti dimensioni per poter con esso osservare il sole con tutta l'esattezza desiderabile. A raggiungere questo fine furono imaginati i gnomoni a disco forato.

Per ben comprenderne la disposizione imaginiamo dapprima che lo stilo A B d'un gnomone (fig. 194) termini con una parte allargata B, avente un foro esattamente sull'asse dello stilo; la luce del sole passando per questo foro illuminerà un piccolo spazio *a* sul piano orizzontale, nel mezzo dell'ombra projettata dalla parte allargata B e sulla medesima direzione dell'ombra della parte rimanente dello stilo. Questo spazio illuminato *a* occupa precisamente il posto che occuperebbe l'estremità dell'ombra se lo stilo, avendo la forma di una semplice asta, si prolungasse fino all'apertura praticata nella parte B. Si può dunque considerare la direzione dell'ombra dello stilo come la retta che congiunge il punto A col centro dello spazio illuminato *a*, e la lunghezza di quest'ombra come la distanza del punto A da questo centro. Mediante la direzione e la lunghezza dell'ombra così ottenuta, si potranno trovare, come precedentemente, l'azimuto e la distanza zenitale del sole; e si potrà perciò considerare la

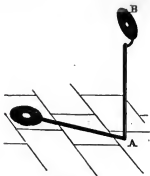



Fig. 194.

lunghezza dello stilo come la distanza del punto A dal centro del foro praticato in B. Si comprende ora che la parte B dello stilo, insieme al foro in essa praticato, può sola bastare all'osservazione, e che si può sopprimere tutta l'asta compresa tra essa e il punto A (fig. 195). Se dal centro del foro si abbassa una verticale B A fino all'incontro del piano orizzontale su cui si projetta l'ombra del disco B, si dovrà considerare questa retta come formante realmente lo stilo del gnomone: una retta A C tracciata su questo piano orizzontale a partire dal punto A, e nella direzione del meridiano, servirà di partenza per determinare l'azimuto del sole in un istante qualunque; e finalmente le lunghezze dello stilo e dell'ombra saranno le distanze del punto A dal centro del foro del disco B e dal centro dello spazio luminoso *a* prodotto da questo foro.

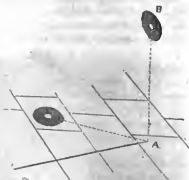



Fig. 195.

Vediamo ora come, mediante questa modificazione portata al gnomone, si possa determinare più giustamente la posizione del sole. Esaminiamo perciò quanto accade nella produzione d'un piccolo spazio luminoso nel mezzo dell'ombra, operata dai raggi che attraversano un foro stretto. A prima giunta sembra che questo spazio luminoso debba essere circondato da una penombra che lo separi dall'ombra pura che lo circonda, e che per conseguenza il suo contorno non presenti maggior nettezza del contorno esterno dell'ombra projettata da un corpo; ma noi vedremo che nulla v'ha di tutto questo. I raggi di luce che partono da uno dei punti del sole, dal punto *m* per esempio (fig. 196), e che attraversano il foro *n*, formano un cono il cui vertice è il punto *m*; questo cono è tagliato dalla superficie A, su cui giungono i raggi luminosi, e la sezione è una curva chiusa *p*, il cui interno è tutto illuminato uniformemente dalla luce emanata dal punto *m*. Ciascuno dei diversi altri punti della superficie del sole che possono inviare dei raggi nel foro *n* illumina un piccolo spazio qual è *p*, e dall'insieme di questi piccoli spazi sovrapposti gli uni agli altri si forma lo spazio totale illuminato dal sole

attraverso il foro n. È facile il vedere dapprima che il contorno di questo totale spazio dipende unicamente dalla figura del sole, e per nulla da quella del foro n, purchè le dimensioni di questo foro siano piccolissime: infatti la grandezza del foro n fa sì che si possa paragonare il cono $m\,n\,p$ ad una semplice linea retta; e se si fa ruotare l'estremità m di questa a lambire tutto il contorno del sole, essa genera

Fig. 196.

una superficie conica il cui vertice è il punto n; l'intersezione di questa superficie conica colla superficie A determina precisamente il contorno dello spazio che il sole illumina attraverso il foro n, e la sua figura non dipende evidentemente che da quella della superficie conica, vale a dire dalla forma del contorno del sole che serve di base al cono. Se ora si considera nello spazio illuminato un punto qualunque r come il vertice d'un cono avente per base il foro n, questo cono comprenderà nel suo interno una porzione s della superficie del sole, e da questa porzione s soltanto possono evidentemente provenire i raggi luminosi che giungono in r. Da ciò è facile il conchiudere che i diversi punti analoghi ad r sono tutti egualmente illuminati dal sole, ad eccezione per altro di quelli che trovansi assai vicini agli orli dello spazio luminoso, pel quale i

coni *r n s* non incontrano che parzialmente la superficie del sole. Vedesi adunque che lo spazio illuminato dal sole attraverso al foro *n* deve presentare una tinta uniforme in tutta la sua estensione, eccetto che in una piccolissima larghezza su tutto il suo contorno ove esiste una vera penombra; ma questa penombra è tanto più stretta quanto più il foro *n* ha minori dimensioni, e può essere anche, per così dire, affatto annullata se un tal foro praticato in un sottilissimo disco è paragonabile al foro fatto con uno spillo. In questo caso, tolta ogni penombra, il passaggio dello spazio luminoso all'ombra che lo circonda è nettissimo, e con grande esattezza si può determinare il centro di questo spazio. Devesi per altro osservare che, diminuendo la grandezza del foro *n*, si diminuisce insieme la grandezza della porzione *s* della superficie del sole che manda raggi in un medesimo punto *r*, e che per conseguenza s'indebolisce lo splendore generale dello spazio illuminato attraverso al foro *n*; in guisa che se, per attenuare per quanto è possibile l'effetto della penombra intorno a questo spazio, si dessero al foro *n* del disco troppo piccole dimensioni, si finirebbe col non poter più distinguere bastantemente lo spazio illuminato dall'ombra pura.

Il gnomone a disco forato può somministrare esattissimi risultati se è costruito dietro le indicazioni derivanti dalle antecedenti considerazioni. Un istrumento di tal genere, in cui il foro del disco trovasi a circa 12^m,5 al di sopra della superficie orizzontale destinata a ricevere i raggi luminosi, venne stabilito in China nel 1271 dall'astronomo Cocheouking, e non fu che nel 1653 che in Europa si ebbe un gnomone paragonabile al chinese: esso fu costruito da Domenico Cassini a Bologna nella chiesa di San Petronio; il disco era fissato all'origine della vôlta dell'edificio, all'altezza di circa 27^m al di sopra del suolo. Più tardi, nel 1742, Lemonnier ne stabilì uno a Parigi nella chiesa di San Sulpizio, ove lo si può ancora vedere: il disco è adattato alla parte superiore della porta laterale di sud, e la traccia del piano meridiano condotto pel foro di questo disco è rappresentata sul pavimento della chiesa da una linea di ottone che l'attraversa per tutta la sua maggior larghezza (*).

(*) Nel 1786 gli astronomi di Milano Cesaris e Reggio costruirono il gnomone che si osserva nel nostro Duomo. Il foro è praticato nella vôlta, all'altezza di 23^m,73 dal pavimento, e la linea meridiana attraversa il pavimento medesimo per tutta la larghezza della chiesa, elevandosi anche alquanto sulle pareti laterali: anche qui il gnomone è segnato con una sottil laminetta di ottone.

Siccome gl'istrumenti a cannocchiale di cui si fa uso attualmente negli osservatorii raggiungono un'esattezza ancora molto maggiore, per l'osservazione del sole, dei gnomoni a disco forato i più perfetti, così nello studio del moto del sole nel cielo questi ultimi strumenti vennero del tutto abbandonati.

121. Figura del disco del sole. — Prima di far conoscere i mezzi usati attualmente per determinare la precisa posizione occupata dal sole in un istante qualunque sulla sfera celeste è d'uopo formarci l'esatta cognizione della forma del suo disco, affine di poter indicare su questo disco il punto particolare cui si riferiscono specialmente le osservazioni. Alla semplice vista il disco del sole ci apparisce esattamente circolare; ma è indispensabile assicurarci colla massima precisione se l'apparente contorno di quest'astro sia realmente una circonferenza di cerchio, ovvero se ne differisca di notabile quantità; al che si può far uso sia del *micrometro a fili paralleli*, sia dell'*eliometro*.

Il micrometro a fili paralleli è un cannocchiale munito di un reticolo, come i cannocchiali che fanno parte degli strumenti destinati alla misura degli angoli; ma differisce da questi ultimi in ciò che il suo reticolo, in luogo d'essere formato da due fili che s'incrociano, si compone di due fili paralleli, l'uno dei quali è fisso, mentre l'altro si può avvicinare più o meno al primo per mezzo d'una vite a testa graduata. La disposizione del micrometro precedentemente descritto, trattando della misura degli angoli (36), può far comprendere assai agevolmente la disposizione affatto analoga del micrometro di cui ora ci occupiamo. Diretto un cotal micrometro a fili paralleli verso il sole, ben inteso che sia frapposto fra l'oculare e l'occhio un vetro colorato a fine di impedire il passaggio ad una gran parte di raggi luminosi e calorifici che attraversano l'istrumento, si potrà fare in guisa che il filo fisso del reticolo tocchi da una parte l'imagine del sole, mentre il filo mobile, opportunamente allontanato dal primo col mezzo della vite che lo fa muovere, tocchi parimente dal lato opposto quest'imagine: allora non rimarrà più che far ruotare il cannocchiale sopra a sè stesso intorno al suo asse di figura, o semplicemente il reticolo a fili paralleli che gli è adattato, onde assicurarsi se in ogni nuova posizione del reticolo i due fili possono ancor toccare dall'una e dall'altra parte l'imagine del sole senza che sia d'uopo di cambiare la loro distanza. E ciò ha luogo in fatti: condotti i due fili all'opportuna distanza fra loro, da toccare l'uno da una parte l'altro dall'altra l'imagine del sole, questo doppio contatto può es-

sere raggiunto senza cambiare per nulla la distanza dei fili, qualunque ne sia la direzione, facendoli ruotare intorno all'asse del cannocchiale. Da ciò deriva necessariamente che la forma del disco del sole è davvero circolare, o almeno che la differenza che può esistere tra le lunghezze de' suoi diversi diametri è troppo tenue per essere verificata con questo genere di osservazioni.

122. L'eliometro conduce al medesimo risultato del micrometro a fili paralleli ma con un grado maggiore d'esattezza. Quest'istrumento, il cui nome (derivante da ἥλιος, sole, e μέτρον, misura) indica che venne imaginato per misurare le dimensioni del sole, consiste essenzialmente in un cannocchiale astronomico senza reticolo, il cui obbiettivo è tagliato in due parti eguali da un piano condotto pel suo asse di figura. Le due metà dell'obbiettivo, opportunamente disposte l'una a lato dell'altra, formano col loro insieme una lente (fig. 197) che agisce sui raggi di luce alla stessa maniera, come se fosse d'un solo pezzo di vetro. Ma mentre l'una delle metà A di questo obbiettivo è fissata al corpo del cannocchiale, l'altra metà B può scorrere nel verso del piano che le separa in modo d'assumere una diversa posizione (fig. 198). Il moto di questa seconda metà dell'obbiettivo si produce per mezzo d'una vite a testa graduata analoga a quella adattata al reticolo di un micrometro (36 e 121). Comprendesi subito che quando le due metà dell'obbiettivo sono disposte a lato l'una dell'altra, come lo indica la figura 198, esse non possono più essere considerate come costituenti col loro insieme una sola e medesima lente: vediamo quanto succede in questo caso.

Fig. 197.

Fig. 198.

Una lente agisce sui raggi emanati da uno dei punti di un oggetto lontano facendoli convergere verso un secondo punto, che noi chiamiamo l'imagine del primo; e l'imagine dell'oggetto è costituita dall'insieme dei diversi punti dell'oggetto medesimo. Ma non è per ciò necessario che il contorno della lente sia circolare: tagliata via una porzione della lente, la rimanente funzionerà come la lente intera, e i raggi emanati da un punto, dopo avere attraversata questa porzione rimanente, convergeranno al medesimo punto come se la lente fosse rimasta intatta; l'imagine dell'oggetto rimarrà dunque la stessa, e non saravvi differenza che nella chiarezza dell'imagine, la quale sarà

diminuita in ragione della diminuzione che avrà provato la superficie totale della lente in conseguenza della soppressione di una sua porzione. Vedesi adunque che ciascuna delle due metà dell'obbiettivo dell'eliometro può essere considerata come una lente a sè, la quale funziona indipendentemente dall'altra metà; e ciascuna di queste due metà produce da sola una completa imagine del disco del sole. Quando le due parti dell'obbiettivo si corrispondono esattamente, come indica la figura 197, le imagini prodotte da ciascuna di esse coincidono, e non vedesi che una sola imagine del sole come se le due parti fossero saldate l'una all'altra in guisa da formare una sola lente completa; ma appena che si faccia scorrere la metà B sull'altra metà, le imagini prodotte da ciascuna di esse cessano dal coincidere e vedesi raddoppiarsi l'imagine del sole; e mentre l'imagine prodotta dalla semi-lente A resta immobile, quella che corrisponde alla semi-lente B si sposta, allontanandosi sempre più dalla prima a misura che si fa ruotare la vite che fa muovere questa semi-lente B. Si comprende che così operando si arriverà ad un istante in cui l'imagine mobile S′ del sole (fig. 199) toccherà l'imagine immobile S in un sol punto C; ed allora è chiaro che, a partire dalla coincidenza di queste due imagini, la prima si sarà spostata d'una quantità eguale precisamente al diametro C D dell'imagine S, che è una retta parallela al piano di separazione delle due metà dell'obbiettivo: se in quest'istante, senza più spostare le due semi-lenti l'una rispetto all'altra, le si fanno ruotare insieme intorno all'asse del cannocchiale, si osserva che le due imagini del sole, una delle quali ruota intorno all'altra, non cessano dal toccarsi in un solo punto; e se ne conclude necessariamente che i diversi diametri dell'imagine fissa S hanno tutti la medesima lunghezza e che per conseguenza il disco del sole presenta esattamente la forma d'un cerchio.

Fig. 199.

L'eliometro pertanto, al pari del micrometro a fili paralleli, può essere impiegato non solamente per verificare in un istante qualunque che tutti i diametri del disco del sole sono eguali, ma anche per trovare l'angolo sotto cui vedesi uno di questi diametri, vale a dire quello che dicesi il *diametro apparente del sole.* Basta perciò che sia graduata la vite mediante la quale si fa muovere la metà mobile dell'obbiettivo, in guisa che si sappia a qual diametro apparente corrisponde il numero di giri e la frazione di giro che si fecero fare a questa vite perchè le

due imagini del sole dalla perfetta coincidenza passino al semplice contatto dei loro lembi. Per eseguire questa graduazione si possono successivamente osservare diversi cerchi bianchi tracciati sopra dei cartoni, o circondati da fondi neri che si collocano a distanze conosciute e grandissime dal luogo dov'è situato l'eliometro. Conosciuta la distanza a cui si trova uno di questi cerchi, come pure la grandezza del suo diametro, se ne conclude facilmente il suo diametro apparente; e notasi il numero di giri e la frazione di giro di cui si è dovuto far ruotare la vite per condurre le due imagini del cerchio ad essere tangenti l'una all'altra. Formato così un quadro dei risultati ottenuti con diversi cerchi collocati a diverse distanze, se ne dedurrà facilmente il valore del diametro apparente che corrisponde a un numero dato di giri della vite.

L'eliometro, uno degli strumenti più ingegnosi che si posseggano, venne imaginato da Bouguer, nel 1748. Egli impiegava due distinti obbiettivi, posti l'uno a lato dell'altro, e mobili l'uno rispetto all'altro; ma fu solo dopo che vennero sostituiti a questi due obbiettivi le due metà d'una medesima lente che si poterono avvicinare le due imagini del sole fino a stabilire fra esse la perfetta coincidenza. Quest'ultima disposizione fa sì che l'eliometro possa venire impiegato con vantaggio alla misura di piccolissimi angoli, come vedremo bentosto; ed i valori che si ottengono per questi angoli sono assai più esatti di quelli che si otterrebbero mediante gl'istrumenti antecedentemente descritti. Così l'eliometro è uno degli strumenti più importanti per un osservatorio. La figura 200 rappresenta l'eliometro costruito da Frauenhofer per l'osservatorio di Koenigsberg. Lungo il corpo del cannocchiale veggonsi due verghe, mediante le quali l'osservatore, tenendo sempre l'occhio all'oculare, può far ruotare tanto la vite che fa muovere la parte mobile dell'obbiettivo, quanto l'insieme delle due metà dell'obbiettivo intorno all'asse del cannocchiale. L'istrumento è montato sopra un piede parallatico (78), ed un meccanismo d'orologieria, col quale lo si mette in comunicazione ad arbitrio, gli fa seguire gli astri nel loro moto diurno; in guisa che il moto diurno della sfera celeste non disturba per nulla l'osservazione che ci occupa, e la ci può fare così comodamente come se la terra che porta l'istrumento non ruotasse intorno al suo asse.

125. Il diametro apparente del sole non è sempre lo stesso, ed ora vedremo come varii da una ad altr'epoca; per un medio lo si può valutare a trentadue minuti. Se il disco del sole

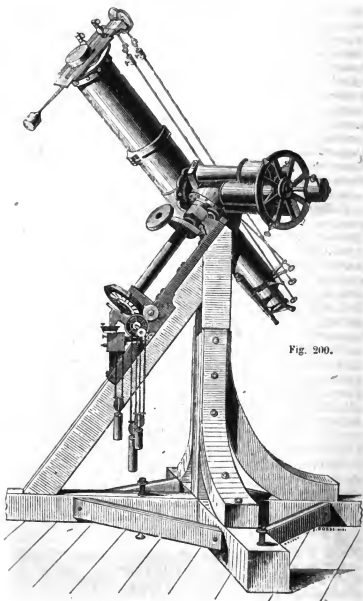



Fig. 200.

presentasse l'egual grado di schiacciamento della terra, si avrebbero più di sei secondi di differenza tra il diametro maggiore ed il minore, differenza facilissima a valutarsi ed a misurarsi mediante il micrometro a fili paralleli o l'eliometro; non risultando nulla di simile dall'osservazione, devesi conchiudere che se il disco del sole non è esattamente circolare, il suo schiacciamento è piccolissimo in confronto dello schiacciamento della terra.

Affinchè l'eliometro non indichi alcuna differenza tra le lunghezze dei diversi diametri del disco del sole bisogna eseguire l'osservazione quando quest'astro trovasi a grande altezza sopra l'orizzonte, giacchè la rifrazione atmosferica ha una considerabile influenza sulla forma del suo disco, e quando è vicinissimo all'orizzonte si produce uno schiacciamento assai notevole. Ciò risulta manifesto dall'osservare che ciascun punto della superficie del sole è sollevato dalla rifrazione atmosferica senza che venga ad uscire però dal piano verticale in cui si trova, e che ciò ha luogo tanto maggiormente quanto più trovasi vicino all'orizzonte (57, 58). Ne deriva immediatamente che essendo il sole in S sulla sfera celeste (fig. 201), lo si vede in S' compreso tra i due cerchi verticali Z A, Z B, che toccano dall'una parte e dall'altra la sua posizione reale S; e questi due cerchi verticali avvicinandosi sempre più dall'orizzonte fino allo zenit Z, è evidente che il diametro orizzontale di S' è alquanto minore di quello di S; ma la differenza ne è sempre insignificante. D'altra parte il lembo inferiore del sole venendo sollevato più del lembo superiore per l'effetto della rifrazione, giacchè quello trovasi più vicino all'orizzonte di quest'ultimo, ne consegue che il diametro verticale di S' è minore del diametro verticale di S. Questa diminuzione che prova il diametro verticale essendo d'altronde molto più forte di quella che prova il diametro orizzontale, il disco del sole dovrà apparire schiacciato secondo la direzione verticale. Lo schiacciamento è sensibilissimo quando il sole è

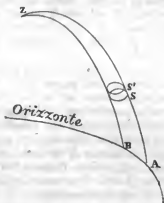



Fig. 201.

vicinissimo all'orizzonte, come si può vedere dalla figura 202, che venne costruita con esatte proporzioni pel caso in cui il sole apparisca col suo lembo inferiore in contatto coll'orizzonte; l'azione dell'atmosfera terrestre sui raggi che provengono dal sole fa sì che il disco, in luogo di apparire in S ove trovasi realmente, apparisce in S', colla deformazione che si è resa sensibile, tracciando intorno a questo disco apparente un cerchio punteggiato eguale al contorno del disco reale S. In questa posizione, in cui il sole sarebbe affatto invisibile se non fosse l'atmosfera, la rifrazione lo solleva intieramente al di sopra dell'orizzonte, e diminuisce il suo diametro verticale della sesta parte del suo valore senza nulla cangiare al suo diametro orizzontale. Quando il sole è ad un' altezza di 45 gradi sopra dell'orizzonte il suo diametro verticale è diminuito soltanto di un secondo; epperò si comprende per qual motivo si debba osservare il sole quand'è vicino il più possibile allo zenit per assicurarsi che il suo disco è esattamente circolare.

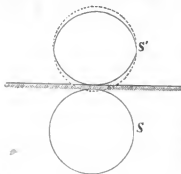



Fig. 202.

Perchè il sole, vicinissimo all'orizzonte, apparisca sotto la forma indicata dalla figura 202 è d'uopo che la rifrazione si faccia regolarmente nell'atmosfera ed anche all'orizzonte, ciò che non ha sempre luogo. Accade spesso che, in conseguenza di particolari disposizioni che presentano gli strati atmosferici vicino alla superficie della terra, si producano delle rifrazioni irregolari, effetti come di miraggio, pei quali il disco del sole assume forme più o meno bizzarre. Non esistendo queste speciali circostanze, il sole all'orizzonte assume sempre la forma schiacciata di cui ora ci occupiamo.

124. È qui il luogo di entrare in alcuni particolari relativamente ad un'illusione ottica che provano tutti. Non v'ha persona che non abbia notato essere il sole assai più grande quando lo si vede all'orizzonte che quando trovasi a grande altezza sopra di questo piano. Posidonio, astronomo e filosofo che viveva a Rodi al tempo di Pompeo, attribuiva questo fenomeno all'effetto dell'atmosfera terrestre sui raggi luminosi; e fu questa la prima

vòlta che fu fatta quistione della deviazione che i raggi potevano provare da parte dell'atmosfera. Ciò che precede fa vedere che non può essere ammessa la spiegazione di Posidonio perchè la rifrazione atmosferica non può alterare il diametro orizzontale del sole che di una quantità piccolissima, e che essa diminuisce il suo diametro verticale all'orizzonte in luogo di aumentarlo. Ed infatti se si misura il diametro orizzontale apparente del sole nelle diverse ore d'una medesima giornata, all'istante in cui comincia a levarsi, all'istante in cui passa al meridiano e nelle posizioni intermedie, trovasi sempre assai sensibilmente lo stesso angolo. Questo cambiamento che sembrano provare le dimensioni dell'astro nello stesso tempo ch'esso si allontana o si avvicina all'orizzonte non è dunque che una mera illusione; ed ecco come possiamo averne la spiegazione.

Noi non vediamo gli oggetti che sotto le loro dimensioni apparenti, e non abbiamo altra idea delle loro dimensioni reali che quella derivante dal combinare insieme la nozione delle loro dimensioni apparenti con quella delle distanze alle quali trovansi da noi; ed un oggetto che noi discerniamo senza sapere a quale distanza è collocato ci apparirà tanto più piccolo quanto più lo giudicheremo vicino a noi. Quando vediamo il sole all'orizzonte, tra esso e noi trovansi frapposti tutti gli oggetti terrestri situati nella sua direzione, laonde, supponendolo naturalmente e istintivamente più lontano di questi diversi oggetti, gli attribuiamo in conseguenza maggiori dimensioni di quelle che gli attribuiremmo qualora nessun oggetto intermediario non ci obbligasse per così dire a riferirlo col pensiero ad una distanza maggiore da noi; ed è quest'ultimo caso che ci occorre quando osserviamo il sole a una certa altezza al di sopra dell'orizzonte; giacchè non trovandosi fra esso e noi alcun oggetto, non lo giudichiamo tanto lontano quanto nel primo caso, e lo reputiamo per conseguenza più piccolo. È per la medesima ragione che le stelle che vediamo la notte ci sembrano attaccate a una vôlta abbassata, vale a dire a una vôlta la cui parte corrispondente allo zenit ci sembra più vicina di quella che corrisponde all'orizzonte: per questo ancora noi attribuiamo alle diverse costellazioni minori dimensioni quando sono allo zenit che quando ne sono lontanissime (*).

(*) Eulero, rifiutata siffatta spiegazione dovuta a Mallebranche, ricorse invece al maggior indebolimento che subisce la luce del sole per l'azione dell'atmosfera quando questo si trova vicino all'orizzonte in confronto di

Un altro fatto che si rannoda a quanto precede e che si spiega alla stessa maniera è il seguente. Se partendo dall'orizzonte seguiamo nel cielo un arco di cerchio verticale avente un termine allo zenit, percorriamo un arco di 90 gradi; e possiamo proporci di dividere alla semplice vista quest'arco totale in due parti eguali: ora, fissando una stella che sembri compiere questa divisione esattamente, vale a dire che sembri ad eguale distanza dallo zenit e dall'orizzonte, e poi misurando l'altezza della stella sopra l'orizzonte col mezzo d'uno strumento, troviamo che tale altezza non è guari 23 gradi in luogo di 45. Vedesi dunque che

quando si trova a considerevole altezza; partendo dal principio che, a pari grandezza apparente di due oggetti, noi siamo soliti a giudicare più lontano, e quindi assolutamente più grande quello che vediamo meno illuminato. Così, apparendoci assai minore l'intensità luminosa del sole quando è all'orizzonte che non quando è sollevato a una certa altezza, è in quella posizione che gli attribuiamo dimensioni maggiori.

Tanto la spiegazione di Mallebranche quanto quella d'Eulero non valgono per verità a indurre l'assoluta persuasione intorno alla maniera colla quale succede la strana illusione; ma si può per altro ritenere che le due spiegazioni, non escludendosi fra di loro, anzi potendo sussistere benissimo insieme, vicendevolmente si rinvigoriscano.

Il grande indebolimento poi che subisce la luce d'un astro che trovasi vicino all'orizzonte nel giungere fino a noi deriva dalla somma obbliquità colla quale i raggi luminosi incontrano i diversi strati atmosferici, per cui assai maggiore è il numero di questi strati che vengono dai raggi medesimi attraversati. Secondo Bouguer, supponendo rappresentata coll'*unità* l'intensità della luce d'un astro all'istante che un suo raggio entra nell'atmosfera, la sua intensità al giungere alla superficie terrestre, secondo le diverse distanze zenitali, è rappresentata come segue:

DISTANZA zenitale.	INTENSITA' luminosa.	DISTANZA zenitale.	INTENSITA' luminosa.
0°	0,81	70°	0,55
20	0,80	80	0,34
40	0,76	90	0,001
60	0,66		

Pertanto l'intensità luminosa del sole all'orizzonte è 810 volte minore di quella che si trova avere quand'è allo zenit. I vapori sparsi nell'aria vicino alla superficie terrestre servono ad aumentare assai più ancora un tale effetto; tanto che per densissime nebbie ci è perfino talvolta impedito di distinguere oggetti anche non molto lontani.

due archi, l'uno dei quali di 25 gradi e l'altro di 67, sembrano eguali; e ciò dipende che il primo è in vicinanza all'orizzonte, l'altro in vicinanza allo zenit. Da quest'ultimo fatto deriva che noi siamo portati ad esagerare di molto le dimensioni verticali degli oggetti che vediamo a una certa distanza nella direzione dell'orizzonte; per cui non ci accorgiamo del sensibilissimo schiacciamento che per l'atmosfera acquista il disco del sole all'orizzonte, e questo disco ci apparisce circolare come quando si guarda l'astro a una certa altezza. Che se misurassimo il suo diametro verticale e il suo diametro orizzontale col mezzo di un eliometro, troveremmo diversissimi valori per questi due diametri.

125. Ascensione retta e declinazione del sole. — Il disco del sole presentando esattamente la forma di un circolo, è naturale che si riferiscano al suo centro tutte le osservazioni che hanno per oggetto di determinare il preciso posto occupato da quest'astro nel cielo. Questo centro non è un punto che si possa osservare con un cannocchiale come si osserva una stella, ma vi si supplisce osservando i lembi del disco, come siamo per indicare.

Per trovare la posizione del sole sulla sfera celeste ad un istante qualunque si misurano l'ascensione retta e la declinazione del suo centro, adoperando il cannocchiale meridiano e il circolo murale, dei quali abbiamo già fatto conoscere precedentemente la disposizione e l'uso (dal num. 80 all'88). Quando il sole passa al meridiano, il suo lembo occidentale raggiunge il primo questo piano; poi, in capo a qualche tempo, vi arriva alla sua volta il lembo orientale. Si osservano gl'istanti nei quali l'imagine del lembo occidentale tocca successivamente i cinque fili del reticolo del cannocchiale meridiano, poi gli istanti nei quali un analogo contatto ha luogo tra l'imagine del lembo orientale e ciascuno di quei cinque fili: facendo la somma dei numeri delle ore, minuti e secondi marcati dall'orologio sidereo all'istante di ciascheduno di questi dieci contatti, poi dividendo il numero totale così ottenuto per dieci, si avrà evidentemente l'ora del passaggio del centro del sole al meridiano, e se ne dedurrà facilmente la sua ascensione retta (82). Per la declinazione si opera in modo analogo: si osservano successivamente il lembo superiore ed il lembo inferiore del disco del sole mediante il cerchio murale, poi si prende la media dei due angoli somministrati da queste due osservazioni, ed una tal media è precisamente l'angolo che si sarebbe trovato se si fosse osser-

vato direttamente il centro del sole, e se ne deduce la declinazione di questo centro (86) (*).

126. **Moto del sole sulla sfera celeste.** — Se si determinano l'ascensione retta e la declinazione del centro del sole, tutti i giorni, all'istante in cui quest'astro passa al meridiano, trovansi costantemente diversi valori da un giorno all'altro successivo. L'ascensione retta è maggiore ogni giorno che nell'antecedente di circa un grado e quanto alla declinazione essa è ora boreale, ora australe. Divenuta boreale, dopo essere stata australe, il suo valore aumenta di giorno in giorno fino a un limite di circa 23° 28′, che giammai non sorpassa; a partire di là decresce progressivamente fino a divenir nulla: in appresso ritorna australe, aumenta fino ad un limite eguale al precedente, poi diminuisce dopo aver raggiunto questo limite, ritorna boreale, e così di seguito indefinitamente.

Aumentando costantemente l'ascensione retta del sole, è chiaro che l'intervallo di tempo compreso tra due successivi passaggi di quest'astro al meridiano dev'essere maggiore che l'intervallo di tempo analogo per una stella, vale a dire maggiore del giorno sidereo. Se a partire dall'istante in cui il centro del sole passa al meridiano si attende che la sfera celeste compia esattamente un intiero giro intorno all'asse del mondo, il cerchio di declinazione in cui trovavasi dapprima il centro del sole ritorna in capo a questo tempo nel piano meridiano; ma in questo intervallo il sole non è rimasto su questo cerchio, perchè la sua ascensione retta aumenta continuamente; esso se ne è allontanato di una certa quantità dalla parte d'oriente, e fa mestieri che la sfera celeste ruoti ancora d'alquanto perchè il centro di quest' astro venga di nuovo a passare per il

(*) Il circolo meridiano serve evidentemente tanto per trovare l'ascensione retta quanto la declinazione del sole (vedi nota a pag. 191). L'osservazione per la declinazione si può fare nel breve intervallo di tempo che rimane tra il passaggio del lembo occidentale e quello del lembo orientale; ma riesce difficilissimo di poter compiere nel medesimo giorno tanto l'osservazione dei passaggi che quella della declinazione; solo vi si arriva colla vicendevole cooperazione di due abili osservatori, uno dei quali dev'essere pronto alla lettura dei nonii o dei micrometri appena l'altro abbia prodotto la collimazione del lembo superiore ovvero dell' inferiore col filo orizzontale.

Quanto all'osservazione dei passaggi poi, per tener conto anche delle diverse distanze esistenti tra i fili è meglio trovare i due precisi istanti dei passaggi dei due lembi pel filo medio (vedi nota a pag. 170), e poscia prendere il medio tra questi due tempi.

meridiano. Il tempo compreso tra due passaggi successivi del sole al meridiano è ciò che dicesi *un giorno solare*. La grande influenza che il sole esercita sulla nostra esistenza fa sì che ci torna assai più comodo prendere per unità di tempo il giorno solare invece del giorno sidereo. Ma in ciò incontrasi una difficoltà: essendo il giorno solare alquanto più lungo del giorno sidereo in ragione del continuo aumento dell'ascensione retta del sole, e mostrando l'osservazione che quest'ascensione retta non cresce sempre in tempi eguali della stessa quantità, ne deriva che l'eccesso del giorno solare sul giorno sidereo varia da un'epoca all'altra, e in conseguenza che la durata del giorno solare non è sempre la stessa. Così, non è già la durata d'un giorno solare qualunque che si adotta per unità di tempo, sibbene una media tra la durata d'un gran numero di giorni solari; questa media dicesi *giorno solare medio*, o semplicemente *giorno medio*, e per l'opposto si dà il nome di *giorno solare vero*, o semplicemente di *giorno vero*, all'intervallo di tempo compreso tra due successivi passaggi del centro del sole al meridiano. Questo giorno medio, che è una media tra un gran numero di giorni veri, è più lungo del giorno sidereo di circa 4 minuti siderei (3′56″,5); lo si divide, come il giorno sidereo, in 24 ore; l'ora si suddivide in 60 minuti, ed il minuto in 60 secondi. Il tempo valutato col giorno medio preso per unità dicesi *tempo medio*. Entreremo più avanti in alcuni schiarimenti relativi a questo tempo; per ora ci accontentiamo d'aver definito il giorno medio a fine di potercene servire nella spiegazione delle diverse circostanze che presenta il moto del sole. Ci occorrerà spesso di usare soltanto il vocabolo *giorno*, e si dovrà sempre intendere il giorno medio, che è l'unità di tempo di cui si fa uso più frequentemente.

127. Abbiamo detto al principio del precedente numero che l'ascensione retta del sole cresce continuamente di circa un grado per giorno, e che la sua declinazione varia periodicamente, essendo ora boreale ed ora australe. Un compiuto periodo di variazioni nella declinazione si compie in 365 giorni medii ed un quarto di giorno; e nello stesso intervallo di tempo l'ascensione retta aumenta quasi esattamente di 360 gradi. Alla fine di questo tempo l'ascensione retta e la declinazione del sole riprendono assai sensibilmente i valori che avevano da principio, e per conseguenza il sole trovasi vicinissimo allo stesso punto del cielo. Cerchiamo ora di comprendere in qual maniera si sposti quest'astro nel detto intervallo.

Per giungere a ciò possiamo ricorrere ad una carta celeste, su cui segneremo le successive posizioni del sole mediante la sua ascensione retta e la sua declinazione, determinate in ogni giorno, come già abbiamo detto. Ricorriamo, per esempio, ad osservazioni fatte in un'epoca in cui la declinazione del sole, essendo australe, diminuisce di giorno in giorno, quindi diviene boreale, ed allora aumenta ognor più. Se sopra una carta rappresentante lo sviluppo della zona equatoriale della sfera celeste (tav. II, pag. 202) cerchiamo quali sieno i punti che corrispondono alle ascensioni rette e declinazioni del centro del sole, trovate, durante parecchi giorni di seguito, all'istante del passaggio di quest'astro al meridiano, vedremo che questi punti sono disposti gli uni dopo gli altri nella costellazione dei pesci; in guisa che il sole negl'istanti di queste successive osservazioni trovasi nelle diverse posizioni 1, 2, 3, ... che indica la figura 203. Con questo mezzo si può seguire il sole nel suo

Fig. 203.

moto attraverso le costellazioni altrettanto bene quanto si potrebbe fare direttamente nel cielo se la luce che spande nell'atmosfera non impedisse di vedere le stelle situate vicine ad esso.

Continuando così a segnare sulla carta le diverse posizioni del centro del sole osservate per 365 giorni consecutivi, a partire dall'epoca in cui la sua declinazione ha cominciato ad essere boreale, ci formeremo un'idea netta del cammino che l'astro segue nel cielo nella durata di tutto questo tempo, alla fine del quale esso trovasi press'a poco al suo punto di partenza. Questo compiuto cammino del sole è tracciato sulla tavola II, pag. 202. Se lo si segue a seconda della direzione nella quale è percorso dal sole, vale a dire da destra a sinistra, lo si vede dapprima

elevarsi al di sopra dell'equatore, poi avvicinarsi a questa linea, che incontra verso il mezzo della carta, abbassarsi quindi nell'emisfero australe, e risollevarsi infine per terminare al punto della costellazione dei pesci donde era partito. Ripetendo la stessa operazione per un novello periodo di 365 giorni, si vedrà il sole percorrere esattamente il medesimo cammino.

128. Ciò che si è fatto su di una carta si può fare egualmente sopra un globo celeste. Segnandovi le posizioni successive del sole, mediante i valori corrispondenti della sua ascensione retta e della sua declinazione, si potrà tracciare la curva secondo la quale esso si muove attraverso alle costellazioni. Si otterrà anzi questo vantaggio, che il cammino del sole sulla sfera celeste sarà rappresentato nella sua vera forma, per cui lo si potrà riconoscere meglio che mediante lo sviluppo che se n'era fatto sulla carta rappresentante la zona equatoriale. Solo non si dovrà dimenticare che i globi celesti ci mostrano le costellazioni al rovescio (91), e che in conseguenza il sole si sposterà sopra un tal globo in direzione contraria a quella secondo cui si sposta sopra una carta, vale a dire in direzione contraria a quella secondo cui noi lo vedremmo muoversi attraverso alle costellazioni se potessimo discernere le stelle di pieno giorno.

Esaminando la curva tracciata su di un globo, al modo che abbiamo detto e rappresentante il cammino del sole sulla sfera celeste, vedesi immediatamente che questa curva A B C D (fig. 204) presenta tutte le apparenze di un circolo massimo inclinato di una certa quantità sull'equatore. Questa prima idea è confermata dai diversi mezzi che si possono impiegare per assicurarsi della sua esattezza. Sia che si facciano delle misure sullo stesso globo, sia che si ricorra a dei metodi di calcolo, si giunge a riconoscere che la via percorsa dal sole attraverso alle costellazioni è veramente un circolo massimo della sfera celeste, o almeno che non differisce da un circolo massimo che per quantità piccolissime, alle quali pel momento non faremo attenzione, salvo a ritornarvi più tardi per indicare la grandezza e la causa di tali differenze.

129. Eclittica, equinozii, solstizii, stagioni. — Il cerchio massimo che descrive il sole sulla sfera celeste, e che percorre intieramente nello spazio di giorni 365 $^1/_4$, dicesi *l'eclittica;* il suo piano fa col piano dell'equatore un angolo di circa 23° 28′, e quest'angolo è comunemente designato sotto il nome d'obbliquità dell'eclittica.

L'eclittica A B C D (fig. 204) taglia l'equatore E E in due punti diametralmente opposti A, C, ai quali si dà il nome di *equinozii*. Il punto A, in cui il sole attraversa l'equatore passando dall'emisfero australe nell'emisfero boreale, dicesi l'*equinozio di primavera*, il punto opposto C è l'*equinozio di autunno*.

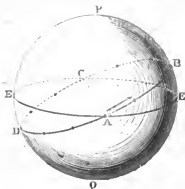



Fig. 204.

I due punti B, D, situati alla metà di ciascheduna delle semi-circonferenze A B C, C D A, diconsi i *solstizii:* il primo B, che trovasi nell'emisfero boreale, è il *solstizio d'estate*, il secondo D è il *solstizio d'inverno*.

Oltre questi quattro punti A, B, C, D, che dividono l'eclittica in quattro quarti di cerchio, se ne imaginarono altri che coi primi dividono l'intiero circolo in dodici parti eguali, come vedesi nella figura 204. Queste dodici parti sono quelle che diconsi i *segni* dell'eclittica; ciascuno di essi ha un'ampiezza di 30 gradi, ed ogni quarto d'eclittica contiene tre segni. I segni ricevettero nomi particolari secondo le costellazioni situate in loro vicinanza, ed eccone i nomi disposti giusta l'ordine dei segni partendo dall'equinozio di primavera A e andando nella direzione del moto del sole indicato dalla freccia: *l'Ariete, il Toro, i Gemelli, il Cancro, il Leone, la Vergine, la Libra, lo Scorpione, il Sagittario, il Capricorno, l'Aquario* e *i Pesci*. Questi dodici nomi sono contenuti nei seguenti due versi, pei quali si possono facilmente ritenere a memoria:

Sunt Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo,
Libraque, Scorpius, Arcitenens, Caper, Amphora, Pisces.

Quando il sole passa all'equinozio di primavera dicesi che entra nel segno di Ariete; quando ha descritto un arco di 30 gradi sull'eclittica a partire da quest'equinozio, esce dal segno d'Ariete per entrare nel segno del Toro, e così di seguito.

Il tempo che il sole impiega a compiere tutto il giro dell'eclittica costituisce ciò che diciamo *un anno*. Si dà il nome di *stagioni* alle frazioni dell'anno durante le quali il sole percorre

ciascuno dei quattro quarti A B, B C, C D, D A dell'eclittica. La stagione durante la quale il sole va dall'equinozio di primavera A al solstizio d'estate B diccsi *primavera;* la stagione seguente, compresa tra il passaggio del sole al solstizio d'estate B, e il suo passaggio all'equinozio d'autunno C, dicesi *estate;* viene in seguito l'*autunno,* compreso tra l'equinozio d'autunno C e il solstizio d'inverno D, e finalmente l'*inverno* corrisponde all'ultimo quarto D A del cammino annuo del sole sulla sfera.

Il nostro calendario, come vedremo più tardi, è basato sul moto del sole, per cui i principii delle quattro stagioni giungono tutti gli anni press'a poco ad epoche della stessa denominazione. Così verso il 21 marzo il sole passa all'equinozio di primavera; verso il 22 giugno trovasi al solstizio d'estate; verso il 23 settembre è all'equinozio d'autunno; e finalmente verso il 22 dicembre giunge al solstizio d'inverno.

130. Del giorno e della notte a diverse epoche e in diversi luoghi. — Ogni giorno vediamo sorgere il sole dalla parte d'oriente e tramontare dalla parte d'occidente; in oltre trovasi quest'astro al di sopra del nostro orizzonte per una porzione di quel tempo che chiamiamo giorno solare (126), e al di sotto dello stesso piano per l'altra porzione di quest'intervallo di tempo. La prima porzione porta più specialmente il nome di *giorno,* la seconda quello di *notte,* ed ognun sa che il giorno ora è più lungo ora più breve della notte. Ora noi siamo in grado di pienamente comprendere come avvengano tutte le variazioni che si osservano nella loro durata nelle diverse epoche di un anno; per ciò possiamo far uso di un globo celeste montato sopra un piede come quello rappresentato dalla figura 135, pag. 154. Supponendo che il sole occupi successivamente diverse posizioni sul cerchio massimo dell'eclittica tracciato su questo globo, e facendo descrivere a questo globo un intiero giro intorno al suo asse, mediante questa rotazione vedremo in qual maniera il cerchio descritto dal sole in ognuna delle sue diverse posizioni è tagliato dal piano dell'orizzonte, e ne concluderemo facilmente il rapporto che esiste fra le durate corrispondenti del giorno e della notte.

Supponiamoci dapprima collocati all'osservatorio di Milano (*), la cui latitudine è di 45° 28′ 0″, e disponiamo in conseguenza il

(*) A tutto quanto nel testo francese si riferisce particolarmente a Parigi abbiamo stimato opportuno sostituire quanto invece si riferisce a Milano.

globo in guisa che il suo asse P Q (fig. 205) sia inclinato sull'orizzonte H H d'una quantità eguale a quest'angolo. Durante la rotazione del globo intorno al suo asse l'equatore E E corrisponde sempre al medesimo punto *a* del meridiano M M; accade lo stesso d'un parallelo qualunque, il quale incontra sempre questo meridiano in un medesimo punto situato da una parte o dall'altra del punto *a* secondo che il parallelo è nell'emisfero boreale, ovvero nell'emisfero australe. Quando il sole è all'equinozio di primavera, vale a dire verso il 21 marzo, esso trovasi sull'equatore celeste, e descrive adunque in un giorno, in virtù del moto diurno, un cerchio che coincide con questo equatore; si alza cioè in F, tramonta in G, e attraversa il meridiano nel punto *a*: il suo cerchio diurno è tagliato evidentemente in due parti eguali dall'orizzonte, vale a dire il giorno è eguale alla notte. A partire dall'equinozio di primavera la declinazione del sole diventa boreale, e va aumentando; ad un'epoca qualunque compresa tra il 21 marzo ed il 22 giugno descrive in un giorno un cerchio che coincide con un parallelo, quale I I, ed attraversa il meridiano in un punto situato al nord del punto *a*, ad una distanza eguale al valore della sua declinazione: il parallelo I I essendo evidentemente tagliato in due parti eguali dal cerchio massimo F P G Q, la porzione di questo parallelo che trovasi al di sopra dell'orizzonte H H è maggiore della porzione che trovasi al di sotto; il giorno è dunque più lungo della notte, e la differenza fra il giorno e la notte è tanto maggiore quanto più la declinazione del sole ha essa pure un maggior valore. Al solstizio d'estate, verso il 22 di giugno, il sole raggiunge la sua

Fig. 205.

maggior declinazione boreale, che è di circa 23° 28', e attraversa il meridiano in un punto *b* lontano dal punto *a* d'una quantità eguale a quest'angolo; il giorno dura 15 ore e 29 minuti, e la notte soltanto ore 8 e 31 minuti. A partire da quel punto, muovendosi il sole dal solstizio d'estate verso l'equinozio d'autunno, la sua declinazione rimane boreale, ma diminuisce progressivamente. Rimanendo pur sempre il giorno più lungo della notte, la differenza va mano mano scemando; e finalmente all'equinozio medesimo di primavera, verso il 23 settembre, il sole trovasi sull'equatore, e il giorno ritorna eguale alla notte. Dal 23 settembre al 22 dicembre il sole trovasi nell'emisfero australe, e la sua declinazione va aumentando; ciascun giorno descrive un cerchio, quale J J, la cui porzione situata al di sopra dell'orizzonte è minore di quella che è situata al di sotto; il giorno è più breve della notte, e tanto più breve quanto più il sole è vicino al solstizio d'inverno. Al solstizio medesimo, verso il 22 dicembre, il sole ha la sua maggiore declinazione australe, la quale ha lo stesso valore della declinazione boreale corrispondente al solstizio d'estate, e attraversa il meridiano in un punto *c* tale che l'arco *a c* è eguale all'arco *a b*; il giorno non dura che 8 ore e 31 minuti, e la notte è di 15 ore e 29 minuti, vale a dire il contrario di quanto ha luogo al solstizio d'estate. Dal 22 dicembre al 21 marzo dell'anno seguente la declinazione del sole è sempre australe, ma va diminuendo, la durata del giorno aumenta costantemente rimanendo sempre inferiore a quella della notte; finalmente quando il sole ritorna all'equinozio di primavera il giorno ritorna di nuovo eguale alla notte. Le circostanze che abbiamo indicate si riproducono in seguito ogni anno nell'identico modo.

Ciò che abbiamo detto pel caso in cui ci trovassimo collocati all'osservatorio di Milano si può ripetere per un gran numero d'altri luoghi, come Londra, Parigi, Madrid, Roma, Berlino, Pietroburgo, e si avranno risultati affatto analoghi. Sempre si riconoscerà che il giorno in ciascuna di queste città è eguale alla notte all'equinozio di primavera; ch'esso aumenta nello stesso tempo che la notte diminuisce dall'equinozio di primavera fino al solstizio d'estate; che dopo il solstizio d'estate il giorno diminuisce fino a ritornare eguale alla notte all'equinozio d'autunno; che dall'equinozio d'autunno al solstizio d'inverno il giorno è più breve della notte, e va costantemente diminuendo; infine che dal solstizio d'inverno all'equinozio di primavera il giorno aumenta di nuovo fino a riprendere una durata eguale a quella della notte. Non vi sarà differenza da un luogo ad un altro che

nei valori del giorno più lungo e del giorno più breve, valori che dipendono dalla latitudine del luogo e che variano con essa.

151. Ma facilmente si riconosce che così non ha luogo per tutti i luoghi della terra situati nell'emisfero boreale. Consideriamo perciò specialmente l'arco di meridiano *b c*, che contiene tutti i punti in cui il sole viene a collocarsi a mezzogiorno nelle diverse epoche d'un anno, e l'arco opposto *b' c'* che il sole attraversa ciascun giorno a mezzanotte. A Milano e nelle altre città che abbiamo citate l'arco *b c* è situato intieramente al di sopra dell'orizzonte, e l'arco *b' c'* intieramente al di sotto di questo piano, per cui avviene che il sole ciascun giorno sorge e tramonta, rimanendo più o meno lungo tempo al di sopra dell'orizzonte secondo che passa più o meno vicino ai punti *b*, *b'* a mezzogiorno ed a mezzanotte. Se così accade in questi diversi luoghi, deriva dal non essere le loro latitudini troppo vicine a 90°. L'altezza del punto *a* di mezzo dell'arco *b c* al di sopra dell'orizzonte è evidentemente eguale all'angolo compreso tra la verticale O Z e la linea dei poli P Q; vale a dire quest'altezza è eguale all'eccesso di 90° sulla latitudine del luogo che si considera. L'altezza del punto *a* a Milano è dunque di 44° 32′ 0″, e siccome è maggiore del valore dell'arco *a c*, che è di 23° 28′, così ne deriva che il punto *c*, e per conseguenza l'intiero arco *b c*, trovansi al di sopra dell'orizzonte. Ma scegliendo un luogo tale che l'eccesso di 90° sulla sua latitudine sia minore di 23° 28′, è chiaro che quest'eccesso essendo sempre l'altezza del punto *a* al di sopra dell'orizzonte, e il punto *c* essendo sempre lontano dal punto *a* di 23° 28′, quest'ultimo punto *c* trovasi al di sotto dell'orizzonte. Il globo disposto in guisa da rappresentare il moto diurno pel luogo di cui si tratta dovrà dunque essere collocato come lo indica la figura 206; e nello stesso tempo che il punto *c* è al di sotto dell'orizzonte H H, il punto *b'* trovasi necessariamente portato al di sopra di questo piano.

Esaminando ciò che avviene in questo caso, si riconosce che quando il sole passa all'equinozio di primavera, il giorno è eguale alla notte; e che, a partire da quell'epoca, avanzandosi il sole nell'emisfero boreale, il giorno aumenta e la notte diminuisce. Ma accade bentosto che il cerchio diurno I I, descritto dal sole, non ha più alcun suo punto al di sotto dell'orizzonte; a partire da quell'istante fino al solstizio d'estate il sole non tramonta più, epperò più non sorge; non v'ha dunque più notte. Tale non interrotta presenza del sole al di sopra dell'orizzonte prosegue oltre al solstizio, finchè la declinazione del sole sia diminuita di

tanto ch'esso venga a descrivere di nuovo in un giorno il cerchio I I. che tocca l'orizzonte in un solo punto. A partire da quell'istante il sole ricomincia a tramontare ed a sorgere, rimanendo ciascun giorno un tempo più o meno lungo al di sotto dell'orizzonte; la notte aumenta, il giorno diminuisce fino all'equinozio d'autunno, in cui divengono eguali. Dopo quest'equinozio la notte diviene sempre più lunga e il giorno diminuisce in pari tempo. Ma ben presto il sole descrive un cerchio diurno quale J J, nessun punto del quale è al di sopra dell'orizzonte, e da quel momento esso non sorge più. Havvi allora notte non interrotta fino al solstizio d'inverno; e questa notte continua si protrae ancora al di là del solstizio, finchè la declinazione australe del sole sia tanto diminuita ch'esso torni a descrivere il cerchio diurno J J. che tocca l'orizzonte in un solo punto. Da questo momento, avvicinandosi il sole continuamente all'equatore celeste, ricomparisce il giorno, e la durata ne aumenta ognor più fino all'equinozio di primavera, in cui torna ad esser eguale alla notte.

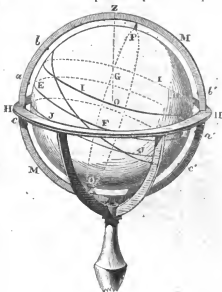



Fig. 206.

Così per ciascun punto dell'emisfero boreale della terra la cui latitudine differisca da 90° di una quantità minore di 23° 28′, vale a dire per ogni punto la cui distanza dal polo nord della terra sia minore di quest'ultimo angolo, l'intiero anno presenta quattro fasi ben distinte. Nella prima, cominciando qualche tempo prima dell'equinozio di primavera e terminando qualche tempo dopo, il sole sorge e tramonta ogni giorno; la durata del giorno, nulla da principio, aumenta fino a diventare di 24 ore; e la durata della notte al contrario diminuisce continuamente dalle 24 ore fino a zero. Nella seconda fase, che comincia all'istante

in cui la prima finisce, e che stendesi egualmente dall'una e dall'altra parte del solstizio d'estate, il sole non tramonta e non v'ha nette. Nella terza fase, che comincia qualche tempo prima dell'equinozio d'autunno e che finisce qualche tempo dopo, tutto accade come nella prima ma in verso contrario; i giorni, dapprima di 24 ore, diminuiscono fino a divenir nulli; e le notti aumentano da zero fino a 24 ore. Finalmente nella quarta fase, che stendesi egualmente dall'una parte e dall'altra del solstizio d'inverno, il sole non sorge e non v'ha giorno.

Le durate della seconda e della quarta fase sono tanto più lunghe relativamente a quelle della prima e della terza quanto più il punto che si considera è vicino al polo boreale della terra: al polo medesimo la prima e la terza fase divengono nulle, e l'anno trovasi diviso in due parti soltanto; nella prima il sole rimane costantemente al di sopra dell'orizzonte, e nella seconda rimane costantemente al disotto di questo piano; non v'hanno allora che un sol giorno, che dura sei mesi, e una sola notte, che dura egualmente sei mesi. In questo caso infatti il globo dev'essere collocato in guisa che il suo asse P Q sia verticale (fig. 207), ciò che fa vedere che il cerchio diurno descritto dal sole ad un'epoca qualunque è parallelo all'orizzonte; questo cerchio diurno sarà al di sopra dell'orizzonte per tutto il tempo impiegato dal sole a passare dall'equinozio di primavera all'equinozio d'autunno, vale a dire per tutto il tempo in cui la sua declinazione è boreale; e sarà questo cerchio al contrario al di sotto dell'orizzonte per tutto il resto dell'anno.

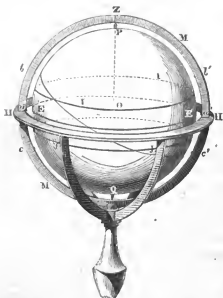



Fig. 207.

132. Ciò che abbiamo detto per punti della terra situati nell'emisfero boreale e a diverse latitudini possiamo ripetere pei punti situati nel suo emisfero australe, ed arriveremo a conseguenze esattamente simili. La sola differenza che incontreremo sta in ciò, che, non essendo visibile il polo boreale della sfera celeste, e il polo australe al contrario trovandosi al di sopra dell'orizzonte, verrà scambiata la parte dei due solstizii; succederà pel solstizio d'inverno quanto abbiamo veduto succedere pel solstizio d'estate nell'emisfero boreale della terra, e contrariamente. Al capo di Buona Speranza, per esempio, la cui latitudine australe è di 34°, la durata del giorno va continuamente aumentando dal solstizio d'estate fino al solstizio d'inverno, e in seguito continuamente diminuendo dal solstizio d'inverno al solstizio d'estate. Per un punto situato ad una distanza dal polo australe della terra minore di 23° 28′, il sole rimane per più giorni al di sopra dell'orizzonte all'epoca del solstizio d'inverno, e per parecchi giorni non sorge all'epoca del solstizio d'estate. Al polo australe poi il sole rimane sopra l'orizzonte dall'equinozio d'autunno fino all'equinozio di primavera, al di sotto di questo piano durante il resto dell'anno.

Per ogni punto della terra situato nell'uno o nell'altro dei due emisferi e lontano più di 23° 28′ dal polo il più vicino, la durata del giorno varia continuamente nell'uno o nell'altro verso a misura che cambia la declinazione del sole; una tale variazione è più o meno pronunciata secondo che la latitudine del punto che si considera è più o meno grande; essa d'altronde ha luogo in versi contrarii a una medesima epoca per due luoghi situati dall'una e dall'altra parte dell'equatore della terra. All'equatore poi questa variazione della durata del giorno sparisce completamente; il giorno è eguale alla notte per tutta la durata dell'anno, la qual cosa si riconosce facilmente mediante un globo. Lo si disponga in guisa che il suo asse P Q sia nel piano dell'orizzonte H H (fig. 208), ed allora è facile il vedere che qualunque cerchio diurno descritto dal sole, quale I I ovvero J J, è tagliato in due parti eguali dall'orizzonte.

Quando il sole è in uno dei punti d'intersezione dell'eclittica coll'equatore celeste, il giorno è eguale alla notte per tutta la terra; gli è per questa circostanza che chiamaronsi equinozii questi due punti (dai vocaboli latini *æquus* e *nox*). Il sole passa al meridiano successivamente nei diversi punti dell'arco *b c* (fig. 205); dal solstizio d'inverno al solstizio d'estate il suo punto d'incontro con questo piano muovesi da *c* verso *b*; dal solstizio

d'estate a quello d'inverno muovesi al contrario da *b* verso *c*. Alla fine di questi periodi il sole, dopo avere per così dire in tal guisa camminato sia verso il nord che verso il sud, sembra *fermarsi* per muoversi in appresso in direzione contraria; ed è da ciò che chiamaronsi *solstizii* questi due punti in cui allora trovasi il sole (dai vocaboli *sol, stat*). Il nome d'equatore deriva da ciò, che per ogni punto della terra situato su questo circolo massimo il giorno è eguale alla notte per tutta la durata dell'anno.

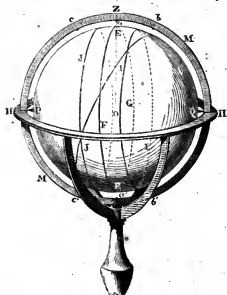



Fig. 208.

133. A compiere le nozioni che abbiamo sviluppate relativamente alle durate del giorno e della notte a diverse epoche e in diversi luoghi, daremo nel seguente quadro le durate dei giorni più lunghi e più brevi per diverse latitudini, dall'equatore fino ai paralleli terrestri la cui latitudine è di 66° 32′ (differenza tra 90° e 23° 28′).

LATITUDINE	DURATA del giorno più lungo	DURATA del giorno più breve	LATITUDINE	DURATA del giorno più lungo	DURATA del giorno più breve
0°	12ore 0m.	12ore 0m.	40°	14ore 51m.	9ore 9m.
5	12 17	11 43	45	15 26	8 34
10	12 35	11 25	50	16 9	7 51
15	12 53	11 7	55	17 7	6 53
20	13 13	10 47	60	18 30	5 30
25	13 34	10 26	65	21 9	2 51
30	13 56	10 4	66° 32′	24 0	0 0
35	14 22	9 38			

Pei luoghi in cui la latitudine è maggiore di 66° 32′ la durata del giorno varia da 0 a 24 ore nella parte dell'anno in cui il sole sorge e tramonta; ma il numero dei giorni durante i quali quest'astro rimane costantemente sopra all'orizzonte senza tramontare, e il numero dei giorni durante i quali rimane costantemente sotto di questo piano senza sorgere, variano colla latitudine; il quadro seguente fa conoscere questi numeri di giorni per diverse latitudini boreali da 66° 32′ fino a 90°.

LATITUDINI boreali.	IL SOLE non tramonta per la durata di circa	IL SOLE non sorge per la durata di circa
66° 32′	1 giorno	1 giorno
70	65	60
75	103	97
80	134	127
85	161	153
90	186	179

Per le latitudini australi dei medesimi valori i risultati non sono affatto gli stessi. Così alla latitudine australe di 75° il sole deve rimanere costantemente al di sopra dell'orizzonte durante tutto il tempo in cui non sorge alla latitudine boreale di 75°; e rimane al di sotto dell'orizzonte, alla prima latitudine, durante tutto il tempo in cui alla seconda latitudine rimane al di sopra di questo piano; il sole rimane adunque circa 97 giorni senza tramontare e 103 giorni senza sorgere alla latitudine australe di 75 gradi. Vedremo bentosto da che derivi questa differenza che presentano le regioni vicine ai due poli della terra.

134. Divisione della superficie della terra in cinque zone. — Abbiamo veduto che le circostanze che presenta il moto diurno del sole sono lungi dall'essere le medesime pei diversi punti della superficie terrestre; il che fece che questa superficie venne divisa in più parti distinte o *zone*, come verremo indicando.

Per ogni punto la cui latitudine boreale od australe non sorpassa 66° 32′ il sole sorge e tramonta in ogni giorno dell'anno; per ogni punto al contrario la cui latitudine è maggiore di 66° 32′ v'hanno certe epoche dell'anno in cui il sole per più giorni non sorge e non tramonta. I due paralleli A A′, B B′ (fig. 209), che corrispondono alle latitudini di 66° 32′, dividono dunque la

superficie della terra in tre parti ben distinte; le due calotte sferiche, ovvero zone ad una sola base A P A′, B Q B′, diconsi le *zone glaciali;* i cerchi A A′, B B′, che ne sono i limiti, diconsi *cerchi polari;* e dicesi specialmente circolo polare *artico* quello che trovasi vicino al polo nord, mentre l'altro porta il nome di circolo polare *antartico.*

Fig. 209.

La parte compresa tra i due cerchi polari dividesi essa pure in tre altre. Per ogni suo punto il sole è soggetto a sorgere e tramontare in ciascun giorno dell'anno; ma la massima altezza a cui s'eleva al di sopra dell'orizzonte non è la stessa sia per l'uno che per l'altro punto. Riportandoci alla fig. 205, pag. 276, noi vediamo che questa massima altezza del sole al di sopra dell'orizzonte, a mezzodì, dipende dalla posizione dell'arco *b c* rispetto allo zenit Z: comprendendo quest'arco tutti i punti nei quali il sole passa al meridiano, nelle diverse epoche dell'anno, è chiaro che se esso trovasi collocato come nella figura, il sole raggiungerà la sua massima altezza al di sopra dell'orizzonte all'istante in cui passerà in *b*. In generale tutte le volte che l'arco *b c* sarà tutto intiero dalla medesima parte dello zenit Z, il sole raggiungerà la sua massima altezza quando passerà ad una delle estremità di quest'arco, vale a dire all'epoca del solstizio d'estate o del solstizio d'inverno, secondo che si considererà un punto dell'emisfero boreale o dell'emisfero australe; e questa massima altezza, sempre minore di 90°, varierà d'altronde di grandezza colla latitudine del luogo. Ma se l'arco *b c* si stende dall'una e dall'altra parte dello zenit (fig. 210) non accadrà più lo stesso: il sole passando al meridiano sucessivamente nei diversi punti di quest'arco, verrà a passare due volte per ciascun anno allo zenit del medesimo luogo; la sua massima altezza al di sopra dell'orizzonte sarà dunque di 90°, e questa non avrà più luogo all'epoca di uno dei due solstizii. Perchè ciò accada è d'uopo che la distanza del punto di mezzo *a* dell'arco *b c* dallo zenit del luogo sia minore della distanza *a b* che è eguale a 23° 28′; e siccome la distanza del punto *a* dallo zenit è eguale alla latitudine del luogo, ne deriva che questa

latitudine dev'essere minore di 23° 28′. Se pertanto si tracciano sul globo terrestre i paralleli C C′, D D′ (fig. 209) corrispondenti alle latitudini di 23° 28′, essi comprenderanno fra loro tutti i luoghi della terra in cui vedesi il sole passare allo zenit a certe epoche dell'anno. Questi due paralleli C C′, D D′ diconsi i *tropici;* quello che trovasi nell'emisfero boreale chiamasi il *tropico del cancro,* l'altro il *tropico del capricorno,* denominazioni particolari che derivano da ciò, che il sole passa allo zenit di un punto qualunque dell' uno o dell'altro di questi due tropici quando entra nel segno del

Fig. 210.

cancro o nel segno del capricorno, vale a dire al solstizio d'estate o al sostizio d'inverno. Il vocabolo *tropico* (dal verbo greco τρέπω, volgere) significa che il sole, dopo essersi avanzato verso il nord o verso il sud, fino a raggiungere lo zenit d'uno qualunque dei punti dei due cerchi ai quali questo nome si applica, ritorna indietro sulla medesima via per avvicinarsi all'equatore. La zona che comprende i due tropici dicesi la *zona torrida;* le due zone comprese tra i tropici e i cerchi polari sono designate sotto il nome di *zone temperate.*

Riassumendo adunque, la zona torrida stendesi dall'una e dall'altra parte dell'equatore fino ai due tropici; il sole passa due volte all'anno allo zenit di ciascun punto di questa zona, eccettuati i punti dei tropici, pei quali quest'astro non passa allo zenit che una volta al solstizio d'estate o al solstizio d'inverno. Le zone temperate stendonsi dai tropici fino ai cerchi polari; il sole sorge e tramonta ciascun giorno dell'anno per tutta l'estensione di queste due zone, come nella zona torrida;

ma non passa allo zenit di alcuno dei luoghi in esse contenuti. Finalmente le zone glaciali stendonsi dai circoli polari fino ai poli; esse comprendono tutti i punti nei quali il sole rimane costantemente al di sopra o al di sotto dell'orizzonte per la durata di parecchi giorni di seguito a certe epoche dell'anno.

135. **Influenza dell'atmosfera sulla durata del giorno; crepuscolo.** — L'atmosfera terrestre, rifrangendo i raggi luminosi che ci provengono dal sole, ci fa vedere quest'astro più elevato che non sia in realtà. Quest'effetto della rifrazione atmosferica diviene sopra tutto sensibilissimo quando il sole è molto vicino all'orizzonte, poichè quando trovasi all'orizzonte medesimo vien sollevato d'un angolo maggiore di 33'. Da ciò risulta che noi vediamo il sole sorgere qualche tempo prima che non sia realmente sorto al di sopra del piano del nostro orizzonte, e lo vediamo tramontare del pari qualche tempo dopo ch'esso siasi abbassato al di sotto di questo piano. La durata del giorno trovasi con ciò aumentata, e in conseguenza diminuita quella della notte. Gli è così che a Milano il giorno più lungo dell'anno è di 15 ore e 37 minuti, e il giorno più breve di 8 ore e 38 minuti, invece di essere il primo di 15 ore e 29 minuti, l'altro di 8 ore e 31 minuti, numeri che precedentemente abbiamo indicato non tenendo conto dell'influenza dell'atmosfera. Vedesi che per questa influenza i giorni a Milano vengono aumentati di quasi 8 minuti all'epoca dei solstizii; lo sono però soltanto di 6 minuti all'epoca degli equinozii. Al polo boreale il sole apparisce nel piano dell'orizzonte, non già quando giunge all'equinozio di primavera, ma quando la sua declinazione australe non è che di circa 33'; ed allora rimane visibile fino all'epoca in cui, dopo trascorso l'equinozio d'autunno, torna ad avere una declinazione australe maggiore di 33'. Si ha cura di tener conto di quest'azione dell'atmosfera nel calcolo delle ore del nascere e del tramonto del sole che s'inseriscono negli almanacchi. I numeri contenuti nelle tavole poste alle pagine 282 e 283 si ottennero trascurando la rifrazione atmosferica; e si riferiscono alle apparenze che presenterebbe il moto del sole in diversi luoghi se non esistesse l'atmosfera.

136. Ma l'atmosfera agisce ancora d'un'altra maniera nell'aumentare in ogni giorno la durata del tempo nel quale noi riceviamo la luce del sole. Quando quest'astro trovasi tanto abbassato al di sotto dell'orizzonte che i raggi di luce che ne emanano non possano più giungerci direttamente, vale a dire quando è tramontato, esso rischiara ancora una porzione di strati atmosferici che trovansi al di sopra di noi; le molecole d'aria, rin-

viandoci una parte della luce che essi ricevono dal sole, spandono d'intorno a noi un chiarore che è grandissimo dopo pochi istanti che il sole è tramontato, e diminuisce progressivamente a misura che il sole s'abbassa sempre più al di sotto dell'orizzonte. La mattina, prima del sorgere del sole, si produce lo stesso fenomeno: gli strati atmosferici situati al di sopra dell'orizzonte sono rischiarati dal sole tanto più quanto più esso s'avvicina al suo sorgere, e ne risulta per noi un chiarore che cresce progressivamente finchè il sole sia sorto. Questo chiarore, variabile dall'uno all'altro istante che precede il sorgere del sole e che segue il suo tramonto, porta il nome di *crepuscolo;* il crepuscolo del mattino è più specialmente designato sotto il nome d'*aurora;* quello della sera col vocabolo *imbrunire.*

La luce crepuscolare non presenta un'intensità uniforme in tutta l'estensione del cielo che si può discernere; vedesi al contrario che tale intensità è maggiore verso uno dei punti dell'orizzonte che in tutti gli altri punti, e che va progressivamente diminuendo, a partire da questo punto, in tutte le direzioni. Questo punto in cui la luce crepuscolare ha la sua maggiore intensità è fra tutti i punti dell'orizzonte quello a cui il sole trovasi più vicino, ed è situato nel piano verticale che passa pel centro dell'astro. Nello stesso tempo che il sole si abbassa al di sotto dell'orizzonte dopo il suo tramonto, il piano verticale che gli corrisponde cambia di direzione, poichè il sole, col suo moto diurno, ci apparisce descrivere un circolo obbliquo all'orizzonte; il punto della maggiore intensità della luce crepuscolare deve dunque spostarsi nello stesso tempo del sole: questo punto s'allontana ognor più dalla posizione che occupava all'istante del tramonto del sole, andando verso nord o verso sud, secondo che il luogo d'osservazione appartiene all'emisfero boreale o all'emisfero australe della terra. Circostanze analoghe si presentano prima del nascere del sole.

Si comprende pertanto che l'intensità della luce crepuscolare non dipende soltanto dalla distanza a cui il sole si trova al di sotto del piano dell'orizzonte: lo stato dell'atmosfera, la quantità di vapore ch'essa contiene, la trasparenza più o meno grande che ne risulta per gli strati atmosferici, debbono avere notevolissima influenza su questa intensità. Deve quindi accadere che la fine del crepuscolo vespertino e il principio del crepuscolo mattutino non corrispondano sempre ad un'eguale depressione del sole al di sotto dell'orizzonte. Non si può dunque stabilire che una regola d'approssimazione per calcolare la durata del cre-

puscolo. In generale si è riconosciuto che quando l'aria è bastantemente pura, la luce crepuscolare si può discernere finchè il sole siasi abbassato di meno di 18 gradi al di sotto dell'orizzonte.

Dietro ciò è agevole formarsi un'idea della durata del crepuscolo, sia dopo il tramonto del sole, sia prima del suo sorgere. Se ci troviamo, per esempio, in un punto dell'equatore terrestre, e che il sole sia ad uno degli equinozii, esso si muove in virtù del moto diurno secondo un cerchio che coincide coll'equatore celeste: quest'astro, percorrendo 360 gradi in 24 ore, descrive un arco di 15 gradi in un'ora: compiendosi il suo movimento, nelle circostanze particolari in cui ci siam posti, in un piano verticale, si vede che per abbassarsi di 18 gradi al di sotto dell'orizzonte, a partire dal suo tramonto, è d'uopo che abbia descritto un arco di 18 gradi sul suo cerchio diurno; il crepuscolo dura adunque tutto il tempo che il sole impiega a descrivere quest'arco di 18 gradi, vale a dire un'ora e 12 minuti.

Il tempo impiegato dal sole ad abbassarsi di 18 gradi al di sotto dell'orizzonte varia colla posizione del luogo in cui ci troviamo posti e colla declinazione del sole, ma questo tempo è generalmente maggiore di quello che abbiamo trovato per un punto dell'equatore terrestre e per l'epoca di uno degli equinozii. Vi hanno pure molti luoghi in cui, a certe epoche, il crepuscolo dura tutta la notte, vale a dire il sole, abbassandosi al di sotto dell'orizzonte fra il suo tramonto e il suo nascere, non giunge alla distanza di 18 gradi, al di là della quale il crepuscolo cessa di manifestarsi. È quanto accade per esempio a Parigi all'epoca del solstizio d'estate. A quest'epoca infatti la declinazione del sole essendo di 23° 28′, la sua distanza dal polo boreale è eguale a 66° 32; a mezzanotte quando il sole trovasi alla maggior depressione al di sotto dell'orizzonte, vale a dire in b' (fig. 205, pag. 276), si otterrà la distanza del sole da questo piano sottraendo da P b', che è eguale a 66° 32′, l'altezza del pólo sopra l'orizzonte, altezza che per Parigi è di 48° 50′; adunque la maggior distanza del sole dall'orizzonte durante la notte a Parigi ed al solstizio d'estate è di 17° 42′ (*).

(*) Non è così per Milano; giacchè sottraendo da 66° 32′ la corrispondente altezza del polo, che è di 45° 28′, si ottiene 21° 4′: per Milano adunque la durata del crepuscolo, nemmeno all'epoca del solstizio d'estate, non si protrae mai per tutta la notte.

Affine poi di formarci un'idea per quanto possibile esatta e completa tanto della maniera colla quale il crepuscolo si produce, quanto dell'an-

137. Variazioni di temperatura prodotte dal moto del sole. — Nello stesso tempo che il sole illumina le diverse parti della

damento che si osserva in questo fenomeno per tutta la sua durata. rappresentino A B D E (fig. 211) la sezione fatta alla terra ed all'atmo-

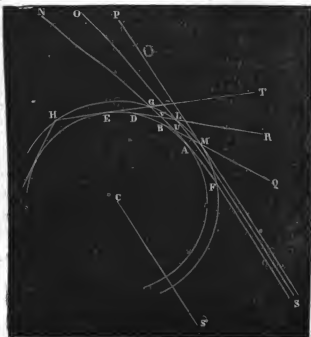



Fig. 211.

sfera, supposte sferiche, mediante un piano che passa pel centro C della terra e pel centro del sole; A il punto corrispondente della superficie terrestre pel quale il sole trovasi precisamente al tramonto; ed S N, S O, S P altrettanti raggi del sole, fra i quali l'estremo inferiore S N, incurvatosi alquanto per la rifrazione dopo il suo ingresso nell'atmosfera, raderà la superficie terrestre in A, e i superiori, come S O, attraverseranno l'atmosfera al di sopra di A senza toccare la terra. Ciascuno di questi raggi uscirà dall'atmosfera dopo aver subita una perdita nella propria intensità luminosa, la quale sarà molto considerevole pei raggi più bassi, e andrà scemando progressivamente pei raggi sempre più alti, di maniera che sarà nulla pel raggio S M P, il quale non fa che toccare l'atmosfera al suo limite superiore M. Se si prendono ora a considerare sulla superficie della terra più punti, quali B, D, E, successivamente più lontani dal punto A, e perciò immersi nell'ombra terrestre, la quale comprende tutto lo spazio

superficie della terra, manda ad esse una quantità considerevole di calore; il quale, combinandosi col calore proprio della terra,

situato al di sotto di A N, è facile il vedere che mentre il punto A riceve l'ultimo raggio che proviene direttamente dal sole, e trovasi altresì rischiarato dalla luce riflessa da tutta la porzione d'atmosfera F M G, vale a dire riceve luce da tutte le parti del cielo, il punto B invece non riceve direttamente alcun raggio solare, come pure non riceve luce nè diretta nè riflessa dalla parte visibile dell'atmosfera situata al di sotto di A G N, ma gode soltanto di un crepuscolo sulla porzione lenticolare G M U del cielo che è attraversata dai raggi solari e situata sul suo orizzonte B Q; e questo crepuscolo è più brillante in M, cioè nel punto del suo orizzonte immediatamente superiore al sole, e va poscia a gradi a gradi indebolendosi sino in G, cioè al limite della porzione illuminata dell'atmosfera. Per il punto D poi non v'ha che la piccola porzione illuminata lenticolare G L V situata al di sopra dell'orizzonte corrispondente D R, per cui il suo crepuscolo è debole, poco esteso e vicino a quella parte dell'orizzonte ove il sole fu veduto tramontare: pel punto E finalmente il crepuscolo è affatto cessato. Alla stessa maniera si potrebbe procedere per esaminare quanto avviene all'aurora, prima che sorga il sole.

Tali pertanto sarebbero le apparenze crepuscolari qualora la parte dell'atmosfera rischiarata dalla luce solare fosse la sola porzione rappresentata dal menisco F M G; vale a dire se il punto G fosse l'estremo limite del crepuscolo. Ma così veramente non ha luogo, giacchè la porzione F M G dell'atmosfera direttamente illuminata dal sole spanderà necessariamente qualche luce anche sulla porzione alla quale non arrivano i raggi diretti di quest'astro, e rispetto ad essa si potrà considerare come un corpo luminoso d'una intensità irradiante infinitamente più piccola di quella del sole, ma che per altro sarà bastante a mandarvi tanta luce da riuscire sensibile specialmente a pupille tanto più dilatate quanto minore è la luce ch'esse ricevono. Questa illuminazione secondaria dicesi *secondo crepuscolo;* e la porzione d'atmosfera così illuminata viene determinata dai raggi luminosi che, partendo dai diversi punti del menisco F M G, si propagano attraverso all'atmosfera oscura dalla parte opposta a quella ove trovasi il sole. Pertanto se si guiderà la retta G E H tangente alla superficie terrestre nel punto E, essa segnerà il limite di questo secondo crepuscolo, il quale sarà rappresentato dal menisco G H E. Questo secondo spazio crepuscolare si potrà concepire come il generatore di un *terzo crepuscolo,* la cui illuminazione sarà più debole di quella del secondo, e così di seguito.

Perchè risultassero bastantemente distinte le direzioni dei diversi raggi luminosi abbiamo dovuto rappresentare lo strato atmosferico assai maggiore di quanto lo sia rapporto alla terra; per cui gli spazii crepuscolari assunsero anch'essi dimensioni molto esagerate in confronto di quanto accade realmente.

Se ora s'imagina la superficie conica formata dai raggi luminosi provenienti dal sole e che radono la superficie terrestre, la quale venga prolungata attraverso all'atmosfera, tenendo altresì conto della rifrazione

determina le diverse temperature che si osservano ne' diversi luoghi. Per intendere come avvengano queste variazioni di tem-

che questi raggi subiscono, si vede che all'uscire dall'atmosfera questa superficie conica disegnerà una circonferenza circolare separante la porzione dell'atmosfera direttamente illuminata dal sole da quella che non lo è. Un'altra simile circonferenza circolare dovrebbero produrre i diversi raggi luminosi derivanti dal primo crepuscolo e producenti il secondo crepuscolo; come pure i raggi partiti da questo e producenti il terzo crepuscolo, e così di seguito. In realtà poi, quando il cielo è perfettamente puro e sereno, dopo il tramonto del sole si vede sollevarsi dall'orizzonte dalla parte d'oriente una striscia a contorno assai bene discernibile e separante la luce dall'oscurità, la quale progressivamente si alza, raggiunge lo zenit e discende dalla parte occidentale verso l'orizzonte mano mano che il sole si abbassa al di sotto di questo piano, fintanto che tramonta e sparisce anch'essa quando il sole trovasi aver raggiunta la depressione di circa 18 gradi. Tale striscia dicesi *curva crepuscolare*, e sembrerebbe veramente appartenere alla media regione del secondo spazio crepuscolare piuttosto che al limite del primo per una specie di sovrapposizione che avviene per così dire tra le luci dei due crepuscoli.

Tanto mediante l'osservazione dell'istante in cui apparisce tramontare la curva crepuscolare, quanto mediante la cognizione della velocità angolare colla quale la stessa curva si muove, si può determinare l'altezza dell'atmosfera, o a meglio dire l'altezza di que' tenuissimi strati d'aria che sono ancora capaci di riflettere sensibilmente la luce (vedi la nota a pag. 121). Ma oltre che della prima specie d'osservazioni non se ne hanno che due, eseguite dal Lacaille al 16 e 17 aprile del 1751, durante il suo viaggio di ritorno dal Capo di Buona Speranza, e della seconda specie non si fecero che alcune osservazioni da Lambert la sera del 19 novembre 1759, i risultati che si potrebbero ottenere non sarebbero bastantemente attendibili per l'incertezza grandissima inseparabile da siffatto genere d'osservazioni.

A quella maniera poi che quando il sole è tramontato l'atmosfera produce i crepuscoli, essa serve a diffondere la luce solare quando il sole è al di sopra dell'orizzonte, in guisa che qualsiasi oggetto esposto alla superficie della terra riceve i raggi luminosi da tutti i punti del cielo. Se l'atmosfera non godesse della proprietà di riflettere e disperdere la luce, noi non vedremmo alcun oggetto che non fosse direttamente illuminato dal sole; l'ombra projettata dalle nubi si trasformerebbe in profonda oscurità, le stelle rimarrebbero costantemente visibili, ed ovunque non arrivassero raggi solari ivi regnerebbero completamente le tenebre. Il potere disperdente dell'atmosfera sui raggi solari è accresciuto altresì dalle ineguaglianze di temperatura dovute alla presenza del sole: durante il giorno le diverse parti dell'atmosfera provano continue agitazioni, ed il rimescolamento di queste parti inegualmente riscaldate produce riflessioni e rifrazioni al loro punti di contatto, per modo che molti raggi luminosi cambiano direzione e si disperdono dando origine ad una luce generale e diffusa.

peratura esaminiamo dapprima quanto succede nella durata di un giorno in un luogo determinato.

La superficie della terra, nel luogo da noi occupato, emette costantemente calorico verso gli spazii celesti, e tende così a raffreddarsi; ma d'altra parte essa riceve calorico dal sole, calorico che tende ad innalzare la sua temperatura: e siccome queste due cause di variazione di temperatura agiscono in senso contrario l'una all'altra, così la temperatura si abbasserà o si eleverà secondo che l'azione della prima sarà maggiore di quella della seconda, o inversamente. Ora mentre l'irradiazione verso gli spazii celesti succede senza interruzione, il calore del sole non giunge sulla superficie di cui si tratta che con intermittenza, supponendo per altro che il sole sorga e tramonti nella durata di una medesima giornata: comprendesi adunque che la quantità di calorico perduta per irradiazione ora è maggiore di quella che vien ricevuta dal sole, ora al contrario quest'ultima quantità è maggiore della prima, in guisa che ne risulta necessariamente che in certi momenti la temperatura s'abbassa e in certi altri si eleva. Seguendo il sole nel suo moto diurno riconosceremo con facilità in qual maniera la temperatura deve variare nello spazio di 24 ore. Poco dopo il nascere del sole il calore che la superficie della terra riceve da quest'astro nel luogo che si considera diventa maggiore di quello che essa perde per irradiazione, in guisa che la temperatura aumenta: elevandosi il sole ognor più al di sopra dell'orizzonte fino a mezzogiorno, il calore che ne riceve la superficie della terra va aumentando; poichè da una parte i raggi solari cadono sulla superficie con una obbliquità sempre minore, e d'altra parte l'atmosfera assorbe una porzione sempre minore di questi raggi, dovendo essi, in conseguenza della diminuzione di loro obbliquità, attraversare uno spessore d'aria sempre più tenue; la temperatura deve dunque accrescersi continuamente fino a mezzodì. Dopo mezzogiorno il sole s'avvicina all'orizzonte, ed il calore che la superficie della terra ne riceve va diminuendo: ma finchè questo calore trovasi ancora maggiore di quello che è perduto per irradiazione, la temperatura non cessa dall'aumentare. Per termine medio è verso le ore due pomeridiane che il calore ricevuto dal sole diventa eguale al calore perduto; e come il calore ricevuto va sempre diminuendo, così avvien ben presto che il calore perduto diventa più grande di quello acquistato, e da quel punto la temperatura si abbassa; così verso le due ore pomeridiane la temperatura è la più elevata.

Da quest'istante fino al tramonto del sole la temperatura s'abbassa sempre più; durante la notte, non inviando il sole calorico alla superficie della terra, la temperatura continua ad abbassarsi fino al sorgere di quest'astro: anche all'istante del sorgere, e qualche tempo dopo, essa s'abbassa ancora, finchè il calore ricevuto non è tanto da compensare la perdita che nello stesso tempo avviene per irradiazione; finalmente, passato breve tempo dopo il sorgere del sole, la temperatura ricomincia ad aumentare. Così nella durata d'un giorno la temperatura varia continuamente; essa raggiunge un *massimo* verso le due ore pomeridiane, ed un *minimo* qualche tempo dopo il sorgere del sole.

158. Se il moto diurno del sole, nel luogo del quale ci occupiamo, presentasse esattamente le medesime circostanze nelle diverse epoche dell'anno; se quest'astro cioè restasse sempre lo stesso numero di ore al di sopra dell'orizzonte, e se esso ogni giorno raggiungesse la medesima altezza al di sopra di questo piano, è chiaro che la temperatura dovrebbe tutti i giorni ripassare per le medesime fasi; la temperatura più elevata per un giorno dovrebbe essere la stessa che quella di tutti gli altri giorni, ed egualmente dovrebbe accadere per la temperatura più bassa. Ma noi sappiamo che così non avviene: l'ineguaglianza che esiste tra la durata del giorno e della notte alle diverse epoche dell'anno e in un medesimo luogo deve condurre ad una corrispondente ineguaglianza nella temperatura. Se noi consideriamo, per esempio, un luogo come Milano, che trovasi nella zona temperata dell'emisfero boreale della terra, noi vedremo che dal solstizio d'inverno fino al solstizio d'estate il tempo che il sole rimane al di sopra dell'orizzonte è sempre più lungo ogni giorno, e che in oltre l'altezza meridiana del sole è sempre più grande: la quantità totale di calore che la superficie del suolo riceve dal sole nello spazio di 24 ore va dunque continuamente aumentando, e per conseguenza la media temperatura di ciascun giorno tende ad elevarsi sempre più. Il contrario succede dal solstizio d'estate fino al solstizio d'inverno; la quantità totale di calore ricevuta dal sole in 24 ore diminuisce ognor più, e in conseguenza la media temperatura di ciascun giorno tende continuamente ad abbassarsi. D'altronde, mediante considerazioni analoghe a quelle che ci hanno mostrato come in ciascun giorno il massimo di temperatura non avviene a mezzogiorno, ma circa due ore più tardi, si riconosce che non è già al solstizio d'estate che si manifesta la più ele-

vata temperatura media del giorno; questa media temperatura del giorno aumenta ancora dopo il solstizio per circa una quindicina di giorni, dopo de' quali essa comincia a decrescere. Parimente la più bassa temperatura media del giorno si manifesta circa quindici giorni dopo il solstizio d'inverno.

In tutta l'estensione delle zone temperate le variazioni di temperatura nel periodo d'un anno devono succedersi di conformità a quanto abbiamo detto. Nelle zone glaciali non avviene identicamente lo stesso; gli effetti calorifici sono modificati dalla circostanza che il sole rimane sull'orizzonte parecchi giorni di seguito in una certa epoca, e in un'altra epoca rimane pure parecchi giorni sotto di questo piano. Nella zona torrida debbono pure aver luogo variazioni di temperatura analoghe a quelle delle zone temperate; ma i cambiamenti che prova la media temperatura del giorno nelle diverse epoche dell'anno sono molto meno sensibili, poichè da una parte è minore la differenza fra i giorni più lunghi e i giorni più brevi, e dall'altra parte il sole a mezzogiorno non è mai molto lontano dallo zenit.

Quanto alla media temperatura dell'anno, si comprende ch'essa deve variare colla latitudine del luogo che si considera: maggiore è questa latitudine, e in termine medio più obbliqui sono i raggi provenienti dal sole. Spiegasi con ciò come avvenga che la media temperatura nella zona torrida sia molto elevata; che questa media temperatura sia più debole nelle zone temperate, e tanto più debole quanto più si va allontanandosi dai tropici per avvicinarsi ai circoli polari; e che infine nelle zone glaciali la temperatura sia bassissima.

Le variazioni di temperatura in un dato luogo, alle diverse ore d'una medesima giornata, e sopra tutto nei diversi giorni d'un medesimo anno, sono assai lungi dal presentare la regolarità che sembrerebbe derivare dalle precedenti considerazioni. Le correnti che si producono nell'atmosfera, e che chiamiamo *venti*, fanno sì che masse d'aria considerevoli, acquistata la temperatura dominante in certe regioni della terra, giungono a contatto con altre regioni ove la temperatura è diversa, e ne seguono modificazioni maggiori o minori nella temperatura di queste ultime regioni. L'irregolarità colla quale soffia il vento, ora da una parte ora dall'altra, fa sì che le temperature in un dato luogo presentino corrispondenti irregolarità. Così non si può giungere a risultati che concordino colle considerazioni teoriche ora sviluppate se non prendendo i medii delle temperature osservate durante un gran numero d'anni; le variazioni

accidentali che turbano ciascuna temperatura in particolare spariscono in gran parte quando si calcolano questi medii; per cui si possono mettere in evidenza le variazioni regolari delle quali abbiamo segnalate le cause.

139. Le variazioni di temperatura prodotte dalla presenza più o meno prolungata del sole al di sopra dell'orizzonte e dalla maggiore o minore obbliquità de' suoi raggi devono essere annoverate tra le principali cause dei venti. Nella zona torrida, ove l'azione calorifica del sole sulla superficie della terra è al suo massimo d'intensità, il riscaldamento continuo dell'atmosfera dà origine a venti regolari conosciuti sotto il nome di *venti alisei*. È agevole il farsi ragione della produzione di questi venti, come pure delle circostanze ch'essi presentano.

L'aria che trovasi presso alla superficie della terra, in vicinanza dell'equatore, acquista una temperatura molto elevata; si dilata e tende ad ascendere nelle regioni superiori dell'atmosfera in ragione della diminuzione della sua densità. L'aria riscaldata non può così elevarsi senza che sia continuamente sostituita da altr'aria più fresca proveniente da contrade poste a una certa distanza dall'equatore dall'una e dall'altra parte di questa linea; d'altronde l'aria che all'equatore medesimo si è elevata si raffredda nelle regioni superiori dell'atmosfera, e di là si riversa sulle zone temperate a riempiere il vuoto derivato dall'aria che vi si trovava e che si è portata verso l'equatore. Da ciò risulta che nell'atmosfera e tutto intorno alla terra si produce un doppio movimento di circolazione mantenuto continuamente dal calore solare (fig. 212).

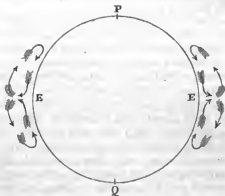



Fig. 212.

Sembrerebbe fin qui che l'azione calorifica del sole dovesse determinare presso alla superficie della terra un vento proveniente dal nord per le regioni situate a certa distanza dall'equatore nell'emisfero boreale, e un vento di sud per le regioni situate dall'altra parte dell'equatore. Ma è d'uopo osservare che

il moto di rotazione della terra deve avere una certa influenza sul fenomeno. L'atmosfera ruota in pari tempo della terra, e in questo moto le sue diverse parti sono animate da velocità maggiori o minori secondo ch'esse corrispondono a questa o quella porzione di superficie terrestre; poichè i raggi dei cerchii descritti dai diversi punti di questa superficie nello spazio di 24 ore sideree variano colle latitudini di questi punti. L'aria che trovavasi in vicinanza di un parallelo qualunque nell'emisfero boreale o nell'emisfero australe, e che si porta all'equatore, possiede una velocità di rotazione minore di quella dei punti della terra a cui si avvicina: giunta presso all'equatore, essa muovesi meno velocemente che non dovrebbe per seguire la terra nel suo moto; trovasi in ritardo rispetto ad essa, e ad un osservatore che nella rotazione della terra venga trasportato con essa, deve apparire di muoversi in verso contrario a questo moto, vale a dire da est verso ovest.

Ed è quanto infatti avviene. I venti alisei in vicinanza all'equatore soffiano da est: al nord dell'equatore l'eccesso della velocità della terra sulla velocità dell'aria si combina col movimento in virtù del quale l'aria si trasporta verso l'equatore, e ne risulta un vento soffiante da nord-est; parimenti al sud dell'equatore le cause che abbiamo indicate producono un vento di sud-est.

Giunta all'equatore l'aria si eleva nelle alte regioni dell'atmosfera, per rivolgersi quindi verso le zone temperate. Ma per la maggiore o minore dimora fatta in vicinanza dell'equatore essa ha acquistato a poco a poco un moto di rotazione più rapido di quello che aveva dapprima; e quando ricade sulla superficie della terra nelle zone temperate muovesi più velocemente che i continenti coi quali si porta in contatto: tale eccesso di velocità, e il moto in virtù di cui l'aria s'allontana dall'equatore si combinano per generare un vento che soffia da sud-ovest nella zona temperata boreale, e da nord-ovest nell'altra zona temperata. Questo ritorno dei venti alisei non è sensibile che a notevoli distanze dall'equatore: nell'isola di Teneriffa, la cui latitudine è di 28 gradi, non si può riconoscerne l'esistenza ch'elevandosi ad una grande altezza sul picco di questo nome; più lungi dall'equatore esso diventa sensibile al livello del mare. Devesi a questo ritorno dei venti alisei la circostanza che a Parigi soffia più frequentemente il vento con direzione di sud-ovest che in tutt'altra direzione. Ma nelle zone temperate i venti regolari dei quali ci occupiamo sono molto meno sensibili che presso all'equa-

tore, e sono in gran parte occultati dai venti irregolari che esistono in queste regioni (*).

(*) Le due grandi correnti atmosferiche inferiore e superiore, dai poli verso l'equatore e dall'equatore verso i poli, si osservano regolarissime nei mari molto vasti, come l'Oceano Pacifico, ad una gran distanza dalle coste; giacchè alle latitudini non molto elevate, quando esista una grande estensione di terra, per l'assorbimento dei raggi solari più intensamente operato da questa vasta superficie solida, che non dalla superficie liquida dei mari, e specialmente all'epoca in cui il sole s'avvicina al suo zenit, viene a spostarsi il centro d'aspirazione dell'aria, e a trasferirsi sopra la medesima superficie solida, verso la quale per conseguenza l'aria inferiore affluisce necessariamente tanto dalle latitudini più elevate quanto dall'equatore medesimo, chiamata dall'una parte e dall'altra dall'energica corrente ascendente che vi si genera. Risultano perciò dei venti particolari che periodicamente soffiano in tali regioni così da sembrare contrarii alla legge generale secondo cui si producono i venti alisei, sebbene si possano facilmente spiegare coi medesimi principii, per cui tali venti particolari si potrebbero a giusto titolo chiamare *alisei locali*.

Per tal modo avviene che nelle stagioni in cui il sole ha declinazioni boreali e si trova pressochè zenitale per quella vasta regione americana che costituisce l'altipiano del Messico, ivi si formi una corrente d'aria ascendente assai energica, per cui l'aria equatoriale inferiore viene aspirata verso di essa e vi si trasporta colla sua grande velocità di rotazione primitiva dall'ovest verso est, in guisa che in tutti i punti intermedii urta gli oggetti terrestri coll'eccesso di questa velocità sopra quella che è propria alla loro latitudine, e in quelle regioni s'incontra nella detta stagione un vento energico proveniente da ovest e da sud-ovest. Il che più non accade nelle stagioni in cui il sole ha declinazioni australi, giacchè allora il massimo riscaldamento non ha più luogo sull'altipiano del Messico, ma sulla parte australe del mare e del continente americano, per cui l'aliseo generale riprende il suo regolare andamento.

Analoghe circostanze producono i venti periodici regolari che s'incontrano nei mari dell'India, e che si chiamano i *monsoni*. Quando il sole è nelle sue maggiori declinazioni boreali la penisola dell'Indostan, il nord dell'India e la China venendo fortemente riscaldate, s'innalza da tutta la loro superficie una corrente ascendente che attira per aspirazione l'aria equatoriale inferiore, e combinandosi la velocità che perciò acquista quest'aria coll'eccesso della sua velocità di rotazione in confronto di quella che hanno le regioni verso le quali si porta, si genera un vento di sud-ovest in tutti i luoghi che attraversa, quali sono il mare della China, la baja del Bengala e l'Oceano Indiano. Questo vento si chiama il *monsone di sud-ovest*, ed è veramente l'aliseo locale di queste regioni. Esso non ha più luogo quando, ritornato il sole alle declinazioni australi, il centro d'aspirazione passa nelle parti australi del mare, nell'Affrica e nell'Australia. L'aria delle terre boreali, chiamata allora verso il centro d'aspirazione, vi si trasporta colla sua velocità di

140. Origine delle ascensioni rette. — Quando abbiamo data la definizione di ciò che intendesi per ascensione retta d'un astro (79) abbiamo detto che non potevamo far conoscere allora immediatamente l'origine, da cui si cominciano a contare le ascensioni rette; ma ora siamo in grado di poter riempiere questa lacuna. Gli astronomi vanno d'accordo nel prendere per questa origine uno dei due punti in cui l'equatore è tagliato dall'eclittica, e veramente quello che abbiamo designato sotto il nome d'equinozio di primavera (129). Se questo punto equinoziale fosse visibile nel cielo come una stella, basterebbe osservare l'istante del suo passaggio al meridiano per regolare l'orologio sidereo che accompagna il cannocchiale meridiano, di conformità a quanto abbiamo detto precedentemente (82). Ma la cosa così non succede, e si è obbligati a ricorrere ad altri mezzi per supplire a quest'osservazione diretta del punto che serve d'origine alle ascensioni rette; ed ecco come si procede.

Consideriamo dapprima specialmente il giorno in cui il sole nel suo moto sull'eclittica passa per l'equinozio di primavera, e prendiamo per esempio i risultati delle osservazioni fatte a Parigi, nel 1825, a quest'epoca particolare. Dietro le indicazioni somministrate dal cerchio murale, il 20 marzo a mezzodì la declinazione del centro del sole era di 9′ 28″ A, e il domani 21 a mezzodì la sua declinazione era di 14′ 18″ B: il sole era dunque passato dall'emisfero australe all'emisfero boreale nell'intervallo tra queste due osservazioni. Si può ora ammettere senza errore sensibile che, durante quest'intervallo di tempo, la declinazione del sole abbia variato di quantità eguali in tempi eguali; in 24 ore solari questa declinazione ha variato di 23′ 46″ (9′ 28″ più 14′ 18″); per variare soltanto di 9′ 28″ occorse dunque un numero d'ore x somministrato dalla proporzione seguente:

$$23' 46'' : 9' 28'' :: 24^{ore} : x;$$

d'onde viene:

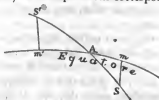
$$x = 9^{ore}\, 33'\, 34''.$$

Così, 9^{ore} 33′ 34″ dopo la prima osservazione, la declinazione del sole, che era dapprima di 9′ 28″ A, fu diminuita di tutto il suo

rotazione minore di quella corrispondente alle regioni che attraversa, e nei mari dell'India si genera allora il vento di nord-est, che è veramente l'aliseo generale, e che si chiama il *monsone di nord-est*.

L'applicazione giudiziosa di questi principii farebbe senza dubbio riconoscere e prevedere l'esistenza dei venti dominanti a certe epoche in regioni ove non si potrebbe supporre l'esistenza di venti accidentali.

valore, vale a dire il centro del sole si ritrovò sull'equatore medesimo; fu dunque il 20 marzo a $9^{ore}\,33'\,34''$ di sera che il sole è passato all'equinozio di primavera.

Lo stesso giorno, 20 marzo 1825, l'orologio sidereo posto vicino al cannocchiale meridiano segnava $23^{ore}\,59'\,1'',29$ al momento del passaggio del centro del sole al meridiano; e il domani 21 marzo segnava $0^{ore}\,2'\,39'',60$ all'istante del passaggio medesimo. Siano S, S' (fig. 213) le due posizioni corrispondenti del sole sulla sfera celeste, e S m, S' m', le declinazioni del suo centro. Se il punto S, ove trovavasi il sole al tempo dell'osservazione del 20 marzo, fosse rimasto visibile nel cielo, dopo che il sole se ne è allontanato per muoversi verso S', sarebbesi veduto passare questo punto S al meridiano il 21 marzo, alla stessa ora siderea del giorno antecedente, vale a dire a $23^{ore}\,59'\,1''\,29$; il sole, allora in S', ha attraversato questo piano a $0^{ore}\,2'\,39'',60$, vale a dire $3'\,38'',31$ dopo il punto S; l'equinozio A, compreso tra S ed S', è passato adunque al meridiano questo medesimo giorno 21 marzo tra $23^{ore}\,59'\,1'',29$ e $0^{ore}\,2'\,39'',60$. Ora egli è chiaro potersi ammettere che il tempo compreso tra i passaggi dei punti S ed A al meridiano è quella frazione del tempo totale $3'\,38'',31$ compreso tra i passaggi dei punti S ed S' che viene rappresentata dal rapporto dell'arco A m all'arco $m\ m'$: od anche, per la somiglianza dei triangoli S m A, S' m' A, dal rapporto di S m a S m + S' m', vale a dire di $9'\,28''$ a $23'\,46''$: si potrà dunque determinare questo tempo x trascorso tra il passaggio del punto S e quello del punto A al meridiano stabilendo la proporzione seguente:

$$23'\,46'' : 9'\,28'' :: 3'\,38'',31 : x,$$

d'onde si deduce:

$$x = 1'\,27'',11.$$

Così il 21 marzo l'equinozio A è passato al meridiano $1'\,27'',11$ dopo il punto S, vale a dire a $0^{ore}\,0'\,28'',40$. Vedesi da ciò che l'orologio sidereo avanzava di $28'',40$ sull'ora che avrebbe dovuto segnare se fosse stato regolato, conformemente a quanto abbiamo detto, in guisa da segnare $0^{ore}\,0'\,0''$ all'istante del passaggio dell'origine delle ascensioni rette al meridiano; e bastava quindi farlo ritardare di $28'',40$ perchè fosse convenientemente regolato.

Fig. 213.

Questo modo di determinare di quanto l'orologio avanza o ritarda sul tempo sidereo, contato in ciascun giorno dall'istante del passaggio dell'equinozio di primavera al meridiano, non può essere impiegato che all'epoca in cui il sole passa all'equinozio di primavera. Si può anche operare in modo analogo all'epoca in cui quest'astro passa all'equinozio d'autunno, appoggiandosi su ciò che l'orologio sidereo deve segnare $12^{ore}\,0'\,0''$ all'istante del passaggio di questo secondo equinozio al meridiano. Ma in qualunque altra epoca dell'anno è necessario ricorrere ad altro mezzo.

Conviene perciò appoggiarsi sulla cognizione che si ha delle leggi del moto del sole, leggi che vennero trovate in seguito a numerose osservazioni di quest'astro fatte in un gran numero d'anni; in guisa che si conosce esattamente quanto aumenta l'ascensione retta del sole in un intervallo di tempo qualunque contato dall'istante del suo passaggio all'equinozio di primavera. Volendosi dunque conoscere di quanto avanza o ritarda l'orologio sidereo a un'epoca qualunque dell'anno, si calcola il numero di giorni, ore, minuti e secondi di cui si compone il tempo trascorso dall'ultimo passaggio del sole all'equinozio di primavera, fino al mezzodì del giorno in cui ci troviamo, e se ne conclude, dietro quanto abbiamo detto, il valore che deve avere l'ascensione retta del sole, dall'istante dell'equinozio di primavera, all'istante di questo mezzogiorno, e per conseguenza l'ora che dovrebbe segnare l'orologio sidereo al momento del passaggio del centro del sole al meridiano, se esso fosse regolato perfettamente sul tempo sidereo. Basta quindi osservare l'ora che segna realmente l'orologio sidereo all'istante di questo passaggio per vedere se è ben regolato; e, nel caso in cui non lo fosse, per sapere esattamente di quanto avanza o ritarda.

Vedesi da quanto precede che se l'equinozio di primavera non è un punto visibile di cui si possa per conseguenza osservare ciascun giorno il passaggio al meridiano, vi si può agevolmente supplire mediante l'osservazione del sole; per modo che possiamo assicurarci dell'andamento dell'orologio sidereo in qualunque epoca dell'anno, con quella esattezza che si avrebbe se l'equinozio di primavera potesse osservarsi direttamente nel cielo.

141. Longitudini e latitudini celesti. — L'ascensione retta e la declinazione d'un astro sono due quantità che servono a definire in modo preciso il posto occupato dall'astro sulla sfera celeste; esse si contano, l'una sull'equatore celeste, l'altra su

di un circolo massimo perpendicolare all'equatore e che dicesi circolo di declinazione. Ma non è questo il solo mezzo che viene usato dagli astronomi onde fissare la posizione d'un astro sulla sfera; sovente essi definiscono la posizione degli astri mediante due altre quantità analoghe all'ascensione retta ed alla declinazione, e che non ne differiscono se non in ciò ch'esse si riferiscono all'eclittica in luogo di riferirsi all'equatore. Ecco quali sono queste quantità.

Siano *e* (fig. 214) un astro qualunque, A B C D l'eclittica, ed E E l'equatore; A *a* è l'ascensione retta, ed *a e* è la declinazione dell'astro. Se si guida pel punto *e* l'arco *e b* perpendicolare all'eclittica, l'arco d'eclittica A *b* compreso tra l'equinozio di primavera A e il piede *b* dell'arco *e b* è quanto dicesi la *longitudine celeste* dell'astro *e*; e l'arco *e b* medesimo dicesi la *latitudine celeste* dello stesso astro. Mediante la cognizione della longitudine e della latitudine celeste d'un astro si può evidentemente avere la posizione in cui esso trovasi sulla sfera, quanto mediante la cognizione della sua ascensione retta e della sua declinazione.

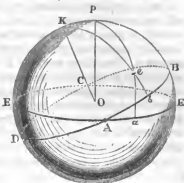



Fig. 214.

Le longitudini celesti si contano a partire dall'equinozio A da 0° a 360° e nella direzione A B C D secondo la quale il sole percorre l'eclittica: le latitudini celesti si contano come le declinazioni, da 0° a 90°, da una parte o dall'altra dell'eclittica; esse sono boreali od australi secondo che si riferiscono ad astri situati dalla parte dell'eclittica ove trovasi il polo boreale P della sfera celeste, ovvero ad astri situati dall'altra parte di questo circolo massimo. Per indicare se la latitudine celeste d'un astro è boreale od australe, si fa seguire il suo valor numerico dalla lettera B o dalla lettera A, come abbiamo già indicato per le declinazioni.

Le longitudini e latitudini celesti sono soventi volte designate sotto i nomi semplici di *longitudini* e *latitudini;* ma non devesi far ciò che quando riesce impossibile confondere queste quantità colle longitudini e latitudini geografiche, quali abbiamo precedentemente definite (95).

I circoli massimi, quali *e b*, perpendicolari all'eclittica, secondo i quali si misurano le latitudini degli astri, diconsi *circoli di latitudine*. Tutti i circoli di latitudine sono incontrati da un diametro perpendicolare al piano dell'eclittica; questo diametro dicesi *l'asse dell'eclittica*, e le sue due estremità sono i *poli dell'eclittica*. Vedesi nella tavola I, pag. 202, la posizione che occupa framezzo alle costellazioni quello fra questi due poli che trovasi nell'emisfero boreale, e che, per tal ragione, dicesi polo boreale dell'eclittica.

142. La misura della longitudine e della latitudine d'un astro non può compiersi direttamente colla stessa facilità come quella della sua ascensione retta e della sua declinazione. La determinazione di queste ultime quantità mediante gli strumenti meridiani è appoggiata a ciò, che la sfera celeste è animata, in apparenza, d'un moto uniforme di rotazione intorno ad una perpendicolare al piano dell'equatore. Quest'asse di rotazione essendo obbliquo rapporto all'eclittica, non è possibile arrivare, seguendo un andamento analogo, alla determinazione delle longitudini e delle latitudini. Gli astronomi pertanto non le misurano direttamente, ma le deducono per ciascun astro dalla sua ascensione retta e dalla sua declinazione.

Prolungando il cerchio di latitudine *e b* (fig. 214) fino al polo K dell'eclittica, e congiungendo questo polo K col polo P dell'equatore mediante un arco di cerchio massimo che prolungato passa evidentemente pei solstizii B, D, formasi un triangolo sferico P K *e*; ed è mediante questo triangolo che si possono trovare la longitudine e la latitudine dell'astro *e* quando si conoscano la sua ascensione retta e la sua declinazione. Vedesi infatti: 1.° che il lato K P che misura l'angolo K O P formato dall'asse dell'eclittica e dall'asse dell'equatore, o, ciò che è lo stesso, l'angolo formato dai piani di questi due circoli massimi, ha per valore l'obbliquità dell'eclittica che è conosciuta; 2.° il lato P *e* è il complemento della declinazione *e a*, vale a dire è uguale a ciò che è d'uopo aggiungere alla declinazione per fare 90°; 3.° infine l'angolo K P *e*, che ha per misura l'arco dell'equatore compreso tra i suoi lati, vale a dire un quarto di circonferenza aumentato dell'arco A *a*, è uguale a 90° più l'ascensione retta dell'astro *e*. Conosciuti i due lati K P, P *e* e l'angolo K P *e*, questo triangolo rimane completamente determinato, e se ne possono conchiudere i valori del lato K *e* e dei due angoli K, *e*, sia mediante una costruzione geometrica eseguita sopra di un globo, sia, meglio, mediante un

calcolo trigonometrico. Dalla cognizione del lato K *e* conséguita immediatamente quella della latitudine dell'astro *e;* giacchè questa latitudine *e b* è evidentemente il complemento dell'arco K *e*: d'altra parte l'angolo P K *e* è misurato dall'arco d'eclittica B *b* compreso tra i suoi lati; e siccome l'arco A B è un quarto di circonferenza, così ne segue che la longitudine A *b* è il complemento dell'angolo P K *e*.

Vedesi da ciò che dalla cognizione dell'ascensione retta e della declinazione d'un astro conséguita necessariamente la cognizione della sua longitudine e della sua latitudine; e inversamente, conoscendosene la longitudine e la latitudine, se ne possono dedurre l'ascensione retta e la declinazione ricorrendo sempre al medesimo triangolo sferico K P *e*.

143. Moto del sole nello spazio. — In tutto quanto abbiamo detto precedentemente, e che si riferisce al moto del sole, non ci siamo preoccupati della distanza maggiore o minore che può esistere tra quest'astro e noi ad epoche diverse; che anzi abbiamo sempre ragionato come se il sole si trovasse in ogni istante alla stessa distanza da noi, nella direzione secondo la quale noi lo vediamo; in guisa che le diverse posizioni per le quali esso passa successivamente trovansi perciò tutte situate sulla superficie di quella sfera ideale che chiamiamo la sfera celeste. Non dobbiamo pertanto attribuire ai risultati così ottenuti tutta la significazione che avrebbero se quest'ipotesi, d'essere il sole sempre egualmente lontano da noi, fosse conforme alla realtà. Dall'aver detto che il centro del sole descrive il circolo massimo dell'eclittica sulla sfera celeste non bisogna conchiuderne che il sole muovasi realmente nello spazio secondo una circonferenza di cerchio avente il suo centro nel luogo ove noi ci troviamo; devesi da ciò concludere soltanto che le rette che congiungono il nostro luogo d'osservazione colle posizioni successive del centro del sole incontrano la sfera ideale, chiamata la sfera celeste, nei diversi punti d'una circonferenza di circolo massimo; o, in altri termini, che queste rette sono tutte situate in un medesimo piano condotto pel luogo dell'osservazione; od anche che il centro del sole descrive nello spazio una linea curva situata tutta in questo piano. Ma nulla di quanto abbiam detto fin qui ci ha potuto dare la menoma idea sulla forma che presenta questa curva che segna il sole nel piano dell'eclittica. Dobbiam ora vedere per quali mezzi si è giunti a compiere, sotto questo riguardo, la cognizione del moto del sole.

144. Le variazioni della distanza del sole dalla terra sono rese sensibili dai cambiamenti di grandezza del suo diametro appaparente (19). Ma gli antichi, che non avevano alcun mezzo preciso per misurare questo diametro apparente, e in conseguenza per giudicare la quantità di cui esso aumenta o diminuisce successivamente, dovettero ricorrere ad altri processi per determinare il cammino che il sole percorre nell'annuo suo moto intorno alla terra; ed ecco quali erano le loro idee a questo riguardo.

Segnando sopra d'un globo celeste le diverse posizioni occupate dal sole fra le costellazioni, ai tempi dei suoi passaggi al meridiano, osservati in un medesimo luogo e in tutti i giorni dell'anno, si riconosce, come abbiamo detto, che tutte queste posizioni trovansi sopra una circonferenza di circolo massimo, che abbiamo chiamato eclittica. Ma confrontando queste posizioni successive del sole, si può anche trovare la grandezza dell'arco d'eclittica ch'esso descrive tra due consecutivi mezzogiorni a diverse epoche dell'anno. Ora si riconosce in tal modo che la quantità di cui il sole si muove sull'eclittica in un giorno non è sempre la stessa; e ce ne formeremo un'idea dal quadro seguente, che porge la grandezza dell'arco descritto dal sole in 24 ore ad epoche ripartite di 30 in 30 giorni nel corso d'un intiero anno.

EPOCHE	ARCO descritto in un giorno.	EPOCHE	ARCO descritto in un giorno.
31 dicembre.	1° 1'10'',1	29 luglio.	57'23'',3
30 gennajo.	1° 0'53'',8	28 agosto.	58' 0'',7
1 marzo.	1° 0' 9'',1	27 settembre.	58'56'',9
31 marzo.	59' 9'',6	27 ottobre.	59'57'',4
30 aprile.	58'11'',5	26 novembre.	1° 0'46'',6
30 maggio.	57'29'',0	31 dicembre.	1° 1'10'',1
29 giugno.	57'11'',8		

Vedesi che la quantità di cui il sole s'avanza in un giorno sull'eclittica comincia col diminuire ognor più durante i primi sei mesi dell'anno, poi aumenta durante gli ultimi sei mesi, per riprendere alla fine dell'anno il valore che aveva al principio. Questo spostamento *diurno* del sole sull'eclittica raggiunge il

suo massimo valore verso il 1.° gennajo, il quale è di 1° 1′ 10″, 1: verso il 1.° luglio raggiunge il suo minimo valore di 57′ 11″, 5.

Il sole pertanto non ha sempre la stessa velocità nel suo moto sull'eclittica; questo moto cioè non è uniforme. Ipparco, che riguardava il moto circolare e uniforme come quello che doveva essere il moto reale degli astri a cagione della sua semplicità, attribuì i cambiamenti di velocità che si osservano nel moto del sole al non trovarsi la terra collocata nel centro del circolo percorso uniformemente da quest'astro nel periodo di un anno. Infatti è agevole il vedere che se il sole si muove con una velocità costante lungo il circolo E E (fig. 215), e se la terra T è collocata nel piano di questo cerchio ad una certa distanza dal suo centro O, il moto del sole, veduto dalla terra, non deve apparire uniforme. Gli archi eguali descritti nell'egual tempo dal sole quando trovasi in M ed in N, per esempio, debbono avere grandezze apparenti diverse, poichè sono a distanze ineguali T M, T N dalla terra (19); la velocità apparente del sole quando è in N dev'essere minore che quando è in M; d'altronde questa velocità apparente del sole deve diminuire costantemente mentre il sole va da M in N, per aumentare in seguito mentre percorre la porzione rimanente della sua orbita.

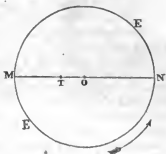



Fig. 215

Quest'idea d'Ipparco, che il sole muovesi sopra d'un circolo eccentrico alla terra, o, secondo l'espressione adottata, sopra un *eccentrico*, è stata per lungo tempo ritenuta come l'espressione della realtà. Il punto M, ove il sole trovasi alla sua minima distanza dalla terra, ricevette il nome di *perigeo* (da περί, γῆ, vicino alla terra); e il punto N, cui corrisponde la maggior distanza, quello d'*apogeo* (da ἀπό, γῆ, lontano dalla terra).

Il rapporto dell'eccentricità O T al raggio O M del circolo può essere facilmente determinato dal confronto tra il maggiore e il minor angolo descritto dal sole in un giorno intorno alla terra. Questi due angoli, che sono il primo di 1° 1′ 10″, 1 ovvero di 3670″, 1, l'altro di 57′ 11″, 5 ovvero di 3431″, 5, devono essere tra essi nel rapporto inverso delle corrispondenti distanze del sole dalla terra, vale a dire devesi avere la proporzione

T M : T N : : 3431, 5 : 3670, 1;

da cui si deduce facilmente che il rapporto tra O T e T M è eguale a 0,0336, o assai prossimamente $\frac{1}{30}$. Vedesi d'altra parte che il sole passa al perigeo verso il 1.° gennajo, poichè la velocità angolare di quest'astro veduto dalla terra è massima verso quest'epoca.

145. Ipparco spiegò pure in altra maniera le variazioni che presenta la velocità angolare del sole nelle diverse epoche d'un anno. Egli suppose che il sole S (fig. 216) descriva uniformemente un circolo, il cui centro C percorre, muovendosi anch'esso di moto uniforme, un altro cerchio avente per centro la terra T. Il cerchio di raggio C S, su cui muovesi il sole, è designato sotto il nome di *epiciclo;* il cerchio di raggio T C, secondo cui si sposta il centro dell'epiciclo, dicesi il *deferente*.

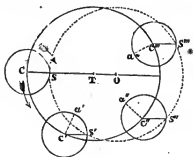



Fig. 216.

Ammettiamo che l'epiciclo muovasi intorno al punto T come se fosse un cerchio materiale fisso all'estremità di un'asta rigida diretta secondo C T, e che possa muoversi intorno a questo punto T; egli è chiaro che, se il sole non si muovesse sull'epiciclo nello stesso tempo in cui questo si sposta, quest'astro, dapprima in S, si troverebbe successivamente nelle posizioni *a'*, *a''*, *a'''*; vale a dire descriverebbe uniformemente intorno alla terra un cerchio di raggio T S. Supponendo invece che il sole muovasi uniformemente sull'epiciclo in guisa da compiere su questo cerchio un intiero giro, mentre il suo centro C percorre la circonferenza del deferente, l'astro troverassi successivamente nelle posizioni S, S', S'', S'''; e si comprende che questo moto, veduto dalla terra, può presentare apparenze che concordino con quelle che realmente si osservano nel moto del sole.

È facile il vedere che questa nuova maniera di considerare il moto del sole ritorna esattamente alla precedente. Ed in primo luogo l'angolo *a'* C' S' descritto dal sole sull'epiciclo essendo sempre eguale all'angolo C T C' descritto dal centro dell'epiciclo intorno alla terra, il raggio S' C' dell'epiciclo che va a terminare al sole rimane sempre parallelo alla sua direzione primitiva S C. Si comprende pertanto che conducendo pel punto T

la retta T O eguale e parallela a C S, e descrivendo la circonferenza di cerchio col centro in O e con raggio O S, questa circonferenza passerà per tutte le posizioni S, S', S'', S''', nelle quali trovasi successivamente il sole: questa circonferenza, descritta col centro O, altro non è che la posizione che assumerebbe il deferente C C' C'' se lo si facesse scorrere parallelamente a sè stesso, per modo che il suo centro T cada in O, ciò che in pari tempo condurrebbe i punti C, C', C'' in S, S', S''. Il punto S muovesi adunque intorno al punto O precisamente allo stesso modo con cui il punto C si muove intorno al punto T. Così la nuova ipotesi di cui si tratta ritorna ad ammettere che il sole descrive uniformemente un cerchio avente il centro in O a una certa distanza dalla terra T; vale a dire essa altro non è che la prima ipotesi (144) presentata sotto altra forma.

A cagione dell'identità di queste due ipotesi d'Ipparco, è evidente che il rapporto del raggio C S dell'epiciclo al raggio C T del deferente deve essere eguale al rapporto che abbiamo trovato tra l'eccentricità O T e il raggio dell'eccentrico; vale a dire che il raggio C S dell'epiciclo dev'essere assai prossimamente trenta volte minore del raggio C T del deferente. D'altra parte il sole e il centro C dell'epiciclo debbono impiegare un anno a percorrere le intiere orbite circolari sulle quali essi muovonsi rispettivamente.

Noi non avremmo parlato di questa seconda ipotesi d'Ipparco, la quale nulla più c'insegna della prima, relativamente al moto del sole, se non dovessimo incontrarla più avanti, sebbene con caratteri alquanto meno semplici, quando ci occuperemo dei moti della luna e dei pianeti.

146. L'ipotesi affatto gratuita dell'uniformità del moto del sole nello spazio venne riconosciuta inammissibile appena si potè riconoscere dalle medesime osservazioni in qual maniera varii la distanza del sole dalla terra nelle diverse epoche d'un anno. Il genere d'osservazioni più semplice cui si possa ricorrere a talo scopo consiste nella misura del diametro apparente del sole; variando questo diametro apparente in ragione inversa della distanza dell'astro dalla terra, dal confronto dei valori pei quali esso passa successivamente si può dedurre come varii questa distanza.

Egli è ben vero che si riconosce tosto come il diametro apparente del sole diminuisce costantemente dal 1.° gennajo al 1.° luglio, per aumentaro in seguito costantemente fino al 1.° gennajo dell'anno successivo; in guisa che, di conformità a quanto

risulta dall'ipotesi d'Ipparco, il sole si allontana effettivamente dalla terra durante il primo periodo di tempo per avvicinarvisi in seguito nel secondo periodo; ma quando si viene a determinare, mediante il diametro apparente, il rapporto che esiste tra la massima e la minima distanza del sole dalla terra, si trova che questo rapporto è assai diverso da quello a cui l'ipotesi d'Ipparco ci ha condotti. Al 1.° di gennajo, trovandosi il sole in S (fig. 217), il suo diametro apparente è eguale a 32'35"6 ovvero 1955",6; al 1.° luglio, trovandosi il sole in S', vale a dire in un punto della sua orbita diametralmente opposto al punto S, il suo diametro apparente è eguale a 31'31",0 ovvero 1891",0: si ha dunque la proporzione seguente tra le distanze T S, T S' della terra dal sole a queste due epoche:

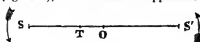



Fig. 217.

T S : T S' : : 1891,0 : 1955,6.

Considerando il punto O di mezzo della retta S S', e designando ancora per analogia la distanza O T col nome di eccentricità, si potrà facilmente determinare, mediante questa proporzione, il rapporto dell'eccentricità O T alla distanza O S, vale a dire alla media delle distanze T S, T S'; e trovasi così che questo rapporto di O T ad O S è eguale a 0,0168 ovvero assai prossimamente $\frac{1}{60}$; che è appunto la metà del numero 0,0336 ovvero $\frac{1}{30}$ quale erasi ottenuto dall'ipotesi d'Ipparco, vale a dire ammettendo che il sole percorra in un giorno lo stesso cammino sulla sua orbita in ogni epoca dell'anno.

Nell'ipotesi d'Ipparco la terra trovasi dal punto O, punto di mezzo delle posizioni S, S' del sole corrispondenti al 1.° gennajo ed al 1.° luglio, ad una distanza eguale alla trentesima parte della distanza O S; mentre in realtà questa distanza della terra dal punto O non è che la sessantesima parte di O S. L'ipotesi d'Ipparco attribuisce dunque alla distanza del sole dalla terra un valore troppo piccolo pel 1.° gennajo e un valore troppo grande pel 1.° luglio. Trovandosi il sole effettivamente più lungi da noi, al 1.° gennajo, che Ipparco non supponeva, deve percorrere in un giorno un cammino maggiore che non credesse, perchè l'angolo descritto intorno alla terra abbia sempre il valore che indicano le osservazioni; al 1.° luglio al contrario, trovandosi il sole più vicino a noi che non credeva Ipparco, il cammino che esso percorre sulla sua orbita è minore di quello che esso dovrebbe percorrere secondo le idee di quell'astronomo:

il sole ha dunque necessariamente sulla sua orbita una velocità al 1.° gennajo maggiore che al 1.° luglio.

Si può anche ragionare in questo modo per convincersi dell'inesattezza delle idee d'Ipparco. Il rapporto tra le distanze T S, T S′ del sole dalla terra, al 1.° gennajo ed al 1.° luglio, è eguale al rapporto che esiste tra il minimo valore del diametro apparente del sole (1891″,0) e il suo massimo valore (1955″,6). Se il sole percorresse in un giorno lo stesso cammino sulla sua orbita, a queste due epoche, gli angoli sotto i quali questi cammini eguali sarebbero veduti dalla terra dovrebbero essere nel rapporto inverso delle distanze T S, T S′; vale a dire il rapporto di questi angoli dovrebbe essere quel medesimo dei numeri 1955,6 e 1891,0: ma al 1.° gennajo l'angolo descritto dal sole in un giorno è di 3670″,1; dunque l'angolo che esso descrive intorno alla terra in un giorno al 1.° luglio dovrebbe avere il valore somministrato dalla proporzione seguente:

$$1955{,}6 : 1891{,}0 :: 3670''{,}1 : x;$$

dalla quale si cava per x il valore di 3548″,9 di gran lunga maggiore dell'angolo di 3431″,5 effettivamente descritto dal sole in un giorno al 1.° luglio: dunque il sole si muove sulla sua orbita al 1.° luglio con una velocità minore che non al 1.° gennajo.

147. Non fu che al principio del secolo XVII che vennero abbandonate le idee d'Ipparco in conseguenza delle scoperte di Keplero. Quest'illustre astronomo, appoggiandosi ad un gran numero di osservazioni di Tycho-Brahé suo maestro, riconobbe che l'ipotesi del moto uniforme del sole su di un eccentrico non era ammissibile. Ma a sì importante risultamento esso non giunse per quei semplici mezzi che abbiamo indicato; giacchè l'invenzione dei cannocchiali datando dalla medesima epoca, gli astronomi non possedevano ancora i mezzi che imaginarono in appresso per misurare il diametro apparente del sole (**121**, **122**). E non fu che dopo molte considerazioni fatte paragonando il moto del sole con quello del pianeta Marte, ch'esso dimostrò incontrastabilmente che il sole percorre la sua orbita con velocità variabile.

Nè qui si fermò Keplero; giacchè esso scoprì la forma reale della curva che il sole descrive nell'annuo moto intorno alla terra, come pure la legge secondo la quale esso descrive questa curva. Uscirebbe dal nostro piano il far conoscere i mezzi usati da Keplero per giungere alle leggi del moto del sole, così come a quelle del moto dei pianeti, di cui avremo a parlare più

tardi; ci accontenteremo quindi d'annunciare queste leggi, la cui esattezza venne in seguito pienamente confermata.

Rispetto alla quistione che ora più specialmente ne occupa, Keplero riconobbe: 1.° che il sole descrive un'ellisse di cui la terra occupa uno dei fochi (101); 2.° che l'area della porzione d'ellisse percorsa in un tempo qualunque dalla retta che congiunge il sole colla terra è proporzionale a questo tempo.

Siano M, N (fig. 218) le due estremità dell'asse maggiore dell'ellisse che il sole descrive, e T il foco di quest'ellisse in cui

Fig. 218.

trovasi la terra; in M il sole è più vicino alla terra, in N ne è più lontano; il primo di questi due punti è il perigeo, l'altro l'apogeo. La seconda delle due leggi che abbiamo enunciate, generalmente conosciuta sotto il nome di *legge delle aree*, mostra in qual maniera la velocità del sole varia colla posizione

ch'esso occupa sulla sua orbita ellittica. Se noi consideriamo per esempio gli archi M M', N N' (fig. 218) che l'astro descrive in tempi eguali, il primo a partire dal perigeo M, il secondo a partire dall'apogeo N, le aree dei settori ellittici M T M', N T N' debbono essere eguali; e ne risulta evidentemente che M M' è maggiore di N N'; vale a dire che la velocità del sole è maggiore quando esso è al suo perigeo che non quando è al suo apogeo. Con analoghe considerazioni è agevole il riconoscere che la velocità del sole diminuisce costantemente quando passa dal perigeo all'apogeo; ed al contrario aumenta senza interruzione quando dall'apogeo va al perigeo.

La forma d'un'ellisse dipende dal rapporto che esiste tra la distanza del centro da uno dei fochi e il semi-asse maggiore; l'ellisse è più o meno schiacciata, più o meno differisce dal cerchio descritto sul suo asse maggiore come diametro secondo che questo rapporto ha un maggiore o minore valore. Mediante la considerazione del massimo e del minimo diametro apparente del sole abbiamo riconosciuto (146) che questo rapporto dell'eccentricità O T (fig. 218) al semi-asse maggiore O M, rapporto che si chiama l'eccentricità dell'ellisse, è eguale a 0,0168, o prossimamente $\frac{1}{60}$. Ne risulta che l'ellisse solare è pochissimo schiacciata; e se la figura fosse stata fatta colle esatte proporzioni, sarebbe impossibile distinguere l'ellisse da un cerchio; come facilmente si comprenderà osservando che, se si volesse tracciare quest'ellisse solare, dando al semi-asse maggiore O M un metro di lunghezza, il semi-asse minore O R dovrebbe avere una lunghezza di 0^{m},99986; vale a dire che la differenza tra il semi-asse maggiore O M e il semi-asse minore O R sarebbe soltanto di 0^{m},00014, ovvero circa $\frac{1}{7}$ di millimetro; e converrebbe che la linea colla quale si rappresenterebbe l'ellisse fosse molto sottile perchè la sua larghezza fosse minore di questa differenza.

Il circolo massimo dell'eclittica non è altro che l'intersezione del piano dell'orbita del sole colla sfera celeste, il cui centro è occupato dalla terra (143). I due equinozii A, C (fig. 218) e i due solstizii B, D sono le estremità dei due diametri di questo cerchio che sono perpendicolari fra loro. È facile l'assicurarsi che l'asse maggiore M N dell'ellisse è diretto rispetto alle rette A C, B D come indica la figura. Vedesi infatti che il sole, percorrendo la sua orbita nel senso della freccia, giunge al suo perigeo M poco dopo essersi trovato nella direzione del solstizio d'inverno D, conformemente al risultato delle osservazioni,

le quali indicano che il diametro apparente del sole ha il suo massimo valore verso il 1.° gennajo. La longitudine del perigeo M, che è eguale all'arco A B C D M (141), ha per valore circa 280°.

Le stagioni, nelle quali l'intiero anno si divide, sono gli intervalli di tempo impiegati dal sole a percorrere i diversi archi *a b*, *b c*, *c d*, *d a* della sua orbita. Attese le posizioni che occupano la linea degli equinozii A C e la linea dei solstizii B D nel piano dell'ellisse, le quattro porzioni *a* T *b*, *b* T *c*, *c* T *d*, *d* T *a* della superficie dell'ellisse non sono fra esse eguali; quindi anche le durate delle stagioni debbono essere diseguali, poichè, per la legge delle aree, queste durate sono proporzionali alle aree di queste quattro porzioni dell'ellisse. Le osservazioni porgono infatti i seguenti numeri per le durate delle stagioni:

Primavera	92 giorni	20 ore	59 minuti
Inverno	89	0	2
Estate	93	14	13
Autunno	89	18	33.

Sommando le durate della primavera e dell'estate si trova 186 giorni, 11 ore, 12 minuti; e operando similmente sulle durate dell'autunno e dell'inverno trovasi 178 giorni, 18 ore, 37 minuti: il sole rimane dunque ogni anno quasi 8 giorni di più nell'emisfero boreale che nell'emisfero australe. Questa ineguaglianza nelle durate delle stagioni dipende dall'eccentricità dell'orbita del sole combinata colla legge delle aree, come pure derivano dalle medesime cagioni le differenze che già abbiamo indicate (133) tra le due zone glaciali della terra.

148. Parallasse del sole; sua distanza dalla terra. — Se dalla considerazione dei valori che corrispondono successivamente al diametro apparente del sole possiamo giungere a conoscere la legge secondo cui varia la distanza di quest'astro dalla terra; non possiamo però trarre da essa alcuna idea intorno alla grandezza assoluta di questa distanza: parimente i mezzi usati da Keplero per giungere alle leggi del moto del sole non potevano che somministrargli i rapporti tra le distanze successive del sole dalla terra. Egli è perciò che in quanto precede non abbiamo indicato che la forma dell'orbita del sole, senza farne conoscere le dimensioni. Sappiamo soltanto che quest'orbita è un ellisse la cui eccentricità è 0,0168; ma non sappiamo qual sia la lunghezza del suo semi-asse maggiore,

o ciò che dicesi la media distanza del sole dalla terra. Ci rimane dunque di compiere, sotto questo punto di vista, le nozioni già acquistate intorno al moto del sole.

La determinazione della distanza di un astro dalla terra si eseguisce col mezzo d'una triangolazione affatto analoga a quella che si usa sulla terra per trovare la distanza di un luogo da un altro a cui non possiamo avvicinarci. L'operazione non presenta altra difficoltà fuor quella prodotta dalla grandezza della distanza che si tratta di trovare, per cui avviene che gli errori d'osservazione hanno influenza grandissima sul risultato. Ed ecco quale ne è il principio:

Osservando un astro E da un punto A della superficie della terra (fig. 219), non lo vediamo precisamente nella medesima direzione come se ci trovassimo al centro O della terra. La direzione A *e* parallela alla O E, secondo cui vedremmo l'astro dal centro della terra, è più vicina allo zenit Z della direzione A E, secondo cui vediamo realmente l'astro dal punto A. L'angolo *e* A E, o il suo eguale A E O, dicesi le *parallasse* dell'astro E. Considerando la terra come sferica, ed ammettendo quindi che la verticale A Z sia il prolungamento del raggio O A della terra, le due direzioni A *e*, A E trovansi in uno stesso piano verticale corrispondente al punto A. Da ciò si vede che la parallasse altro non è che la quantità onde viene aumentata la distanza zenitale dell'astro per un osservatore che passi dal centro O della terra al punto A della sua superficie. Se l'astro si trovasse in E′, vale a dire nel piano dell'orizzonte corrispondente al punto A, il valore particolare dell'angolo A E′ O s'indica sotto il nome di *parallasse orizzontale;* mentre all'opposto l'angolo A E O dicesi *parallasse d'altezza.*

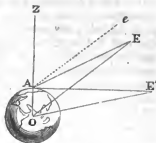



Fig. 219.

È evidente che basta conoscere la parallasse orizzontale di un astro per poterne dedurre subito il rapporto che esiste tra la distanza dell'astro dalla terra e il raggio medesimo della terra. Infatti il triangolo O A E′ essendo rettangolo in A, conoscendo l'angolo in E′, se ne dedurrà immediatamente il terzo angolo in O, e, conosciuti i tre angoli, si troverà facilmente il rapporto tra i lati O E′ ed O A. La ricerca pertanto della di-

stanza di un astro dalla terra si riduce a quella della sua parallasse orizzontale, a cui spesso, per brevità, si applica la semplice denominazione di parallasse.

La determinazione della misura della parallasse d'un astro è più o meno difficile secondo che l'astro è più o meno lontano dalla terra. Si comprende infatti che più lontano dalla terra è l'astro che si considera, e la sua parallasse è minore, e maggior precisione per conseguenza si richiede nella sua determinazione, perchè l'errore commesso non sia una frazione notevole del risultato medesimo che si cerca. Quando ci occuperemo della luna faremo conoscere un mezzo semplice per trovare la sua parallasse con osservazioni fatte in due diversi luoghi e a un'epoca qualunque. Ma questo mezzo non può servire pel sole, e la parallasse del sole non si può determinare con una certa esattezza che per mezzo di osservazioni fatte all'epoca dei passaggi del pianeta Venere sul disco del sole, fenomeni che non si producono che a lunghi intervalli di tempo. Le ultime osservazioni di tal genere, sulle quali daremo più avanti alcuni schiarimenti perchè si comprenda come esse possano somministrare il valore della parallasse del sole, vennero fatte nel 1769; nel 1874 soltanto se ne potranno fare di nuove, e correggere, se farà d'uopo, i risultati ottenuti nel 1769.

Pitagora supponeva che il sole fosse a 16 o 18 mila leghe distanza dalla terra: Aristarco di Samo, appoggiandosi ad una considerazione che faremo conoscere più tardi, attribuiva alla parallasse del sole un valore di 3', per cui il sole veniva a trovarsi ad una distanza dalla terra eguale a 1146 volte il raggio della terra: Ipparco, Tolommeo ed anche Tycho-Brahé nulla cangiarono alla parallasse adottata da Aristarco: Keplero inclinava a ridurla ad 1': Halley la supponeva di 25″ soltanto. Ma fino a quest'epoca non se ne avevano che valutazioni all'ingrosso. Verso la metà del secolo XVIII Lacaille andò molto presso alla verità fissando a 10″ la parallasse del sole, deducendola dal valore da esso trovato per quella del pianeta Marte. Finalmente dalle osservazioni del passaggio di Venere sul disco solare, nel 1769, si trovò che la parallasse del sole è eguale a 8″,6, valore che può essere considerato come noto, coll'approssimazione di un decimo di secondo.

La parallasse del sole varia allontanandosi esso o avvicinandosi a noi; il valore di 8″,6 che le abbiamo assegnato corrisponde alla media distanza del sole dalla terra. Se ne conclude che questa distanza media è eguale a 23 984 volte il raggio della

terra: per maggiore semplicità prenderemo 24 000 in luogo di 23 984; la differenza tra questi due numeri è troppo piccola rispetto a ciascuno di essi, e al grado d'esattezza che può avere la determinazione della distanza del sole, per non ritenere che troppo ci scostiamo dalla verità facendo questa leggera modificazione. Tenendo conto del valore precedentemente assegnato all'eccentricità dell'orbita del sole si riconosce che la distanza di quest'astro dalla terra è di 23 600 raggi terrestri quando esso è al suo perigeo, e diventa eguale a 24 400 raggi terrestri quand'è al suo apogeo. E siccome il raggio della terra è di 6 366 chilometri, così se ne conchiude che la distanza media del sole dalla terra è di circa 38 milioni di leghe da 4 chilometri (*).

149. Abbiamo detto che la direzione secondo la quale noi vediamo il sole non è esattamente quella stessa che risulterebbe quando noi osservassimo quest'astro trovandoci collocati al centro della terra; lo vediamo quindi occupare sulla sfera celeste un

(*) Con maggiore approssimazione si potrebbe dire essere la distanza media del sole dalla terra di 38 200 000 leghe da 4 chilometri; ed avuto riguardo all'eccentricità superiormente enunciata dell'orbita del sole, la minima distanza sarebbe di 37 500 000 leghe, la massima di 38 800 000 corrispondenti la prima al 1.° gennajo, l'altra al 1.° luglio. Espresse queste distanze in miglia italiane da 60 al grado si avrebbero:

Media distanza del sole dalla terra. .	miglia italiane	82 500 000
Minima distanza del sole dalla terra.	»	81 100 000
Massima distanza del sole dalla terra.	»	83 800 000.

Affine poi di formarsi un'idea del grado di approssimazione raggiunto con tali cifre, basta il riflettere che un errore nella parallasse del sole di un decimo di minuto secondo, essendo questa parallasse di 8″,6, arrecherebbe un errore di $^1/_{86}$ nel valore della media distanza, per cui questo errore ammonterebbe a circa 444 000 leghe; e supponendo anche un errore nella misura del raggio terrestre di un chilometro, questo produrrebbe un errore 24 000 volte maggiore nella distanza del sole dalla terra, epperò un errore di 24 000 chilometri, ossia di 6 000 leghe; per cui, se questi due errori esistessero simultaneamente, e fossero tali da sommarsene gli effetti, il complessivo errore sarebbe ancora di sole 450 000 leghe da 4 chilometri, che è quanto dire meno di un milione di miglia geografiche italiane; errore abbastanza piccolo avuto riguardo all'enorme distanza alla quale si riferisce. E devesi ancora riflettere che in siffatto computo abbiamo supposto tanto nella parallasse solare quanto nella lunghezza del raggio terrestre un errore certamente maggiore di quanto si può ragionevolmente ritenere.

posto alquanto differente da quello che lo vedressimo occupare se ci trovassimo in questa posizione centrale. La distanza angolare compresa tra i due punti della sfera celeste ai quali corrisponde il centro del disco del sole veduto dal centro della terra e dal luogo ove noi siamo posti è precisamente eguale a quella che noi chiamiamo parallasse d'altezza; e questi due punti sono situati in un medesimo piano passante per la verticale del luogo d'osservazione.

Da ciò comprendesi come il sole non debba apparire egualmente collocato sulla sfera celeste per gli astronomi che l'osservano da differenti punti della superficie della terra e ad un medesimo istante; il moto annuo del sole sulla sfera non deve dunque presentare esattamente gli stessi caratteri per questi astronomi diversamente appostati. D'altra parte venendo uno stesso luogo della superficie della terra ad occupare differenti posizioni nelle diverse ore di una stessa giornata a cagione della rotazione della terra intorno a sè stessa, devono risultarne delle irregolarità nelle osservazioni fatte da questo luogo soltanto, e se, per esempio, il sole veduto dal centro della terra, sembrasse assolutamente immobile rispetto alle stelle vicine nel periodo di un giorno intiero, ciò non accadrebbe egualmente per un punto della superficie della terra; da questo punto lo si vedrebbe assumere successivamente diverse posizioni intorno a quella, ch'esso conserverebbe invariabile nel cielo per un astronomo collocato al centro della terra.

Si possono a questa cagione riferire se non in tutto in gran parte almeno le debolissime differenze di cui abbiamo detto qualche parola alla fine del num. 128. Dietro le osservazioni fatte nell'intiero periodo di un anno in un medesimo luogo della terra, il centro del sole descrive assai prossimamente il circolo massimo dell'eclittica, ma non si mantiene rigorosamente su questo circolo massimo. D'altronde la posizione che il centro del sole sembra occupare a lato dell'eclittica ad un'epoca qualunque non è la stessa pei differenti luoghi donde simultaneamente lo si osserva. Onde far scomparire queste discordanze tra i risultati ottenuti dai diversi osservatori è ovvia la cura di ridurre le osservazioni a quello che sarebbero qualora fossero state fatte al centro della terra; ciò che in fatti si pratica operando come ora indicheremo sommariamente.

Dal centro della terra O (fig. 219) e dal punto A della sua superficie vedesi il sole nello stesso piano verticale; la sola distanza zenitale è diversa; in A essa è maggiore che in O d'una

quantità eguale alla parallasse d'altezza. Così, per effetto della parallasse, il sole viene abbassato d'una certa quantità nel piano verticale in cui esso si trova. Questo effetto è in tutto analogo a quello che è prodotto dalla rifrazione atmosferica (57), ma in senso contrario; per cui le correzioni che debbonsi applicare ai risultati delle osservazioni per farlo scomparire si eseguiscono alla stessa maniera di quelle che si riferiscono alla rifrazione. Determinando per ciascun giorno la posizione del sole sulla sfera celeste mediante osservazioni fatte al cannocchiale meridiano ed al cerchio murale (*), come si opera solitamente negli osservatorii, non si avrà che a modificare il risultato somministrato dal cerchio murale d'una quantità eguale alla parallasse d'altezza dell'astro, e in modo contrario a quello con cui si corregge il medesimo risultato dall'effetto della rifrazione (87): quanto all'ascensione retta del sole, somministrata dalle osservazioni dell'astro al cannocchiale meridiano, essa non è per nulla alterata dalla parallasse, come non lo è dalla rifrazione.

Questa correzione dell'effetto della parallasse sulla posizione apparente del sole nel cielo suppone che si conosca la parallasse d'altezza dell'astro per l'istante e per il luogo ove si fa l'osservazione: ecco in che modo si giunge a conoscere questa parallasse d'altezza. È noto che la parallasse orizzontale è eguale a 8",6 quando il sole si trova alla sua media distanza dalla terra, e che d'altronde il diametro apparente del sole per la medesima distanza è di 32' 3",3. Variando evidentemente la parallasse orizzontale nello stesso rapporto del diametro apparente, poichè queste quantità variano ambedue in ragione inversa della distanza del sole dalla terra, basta conoscere il diametro apparente per un'epoca qualunque per dedurne immediatamente con una proporzione il valore della parallasse orizzontale per l'epoca medesima. Conosciuta la parallasse orizzontale A E' O (fig. 219) se ne deduce il rapporto delle rette A O, E' O, che è quel medesimo che esiste tra le rette A O, E O; e col mezzo di quest'ultimo rapporto e dell'angolo O A E, che è il supplemento della distanza zenitale dell'astro osservato in A, si calcola l'angolo A E O, vale a dire la parallasse d'altezza. Onde evitare questi calcoli ogni volta che importi conoscere la parallasse d'altezza del sole, si è costruita una tavola che porge il valore di questa quantità per le diverse epoche e per le diverse distanze zenitali, e viene pubblicata ogni anno nella *Connaissance des temps*, come la tavola delle rifrazioni (58). Il

(*) Ovvero unicamente al circolo meridiano.

quadro seguente, che ne è un estratto, fa vedere come essa sia disposta, e porge nello stesso tempo un'idea della maniera onde varia la parallasse d'altezza secondo le circostanze.

Distanza ZENITALE apparente.	PARALLASSE D'ALTEZZA DEL SOLE, AL		
	1.° gennajo.	1.° aprile o 1.° ottobre.	1.° luglio.
0°	0″,00	0″,00	0″,00
15°	2″,26	2″,23	2″,19
30°	4″,37	4″,30	4″,23
45°	6″,18	6″,08	5″,98
60°	7″,57	7″,45	7″,32
75°	8″,45	8″,30	8″,17
90°	8″,75	8″,60	8″,46

Supponiamo, per esempio, che al 1.° gennajo ad una cert'ora della giornata siasi trovato che la distanza zenitale del sole era di 75°; se ne dedurrà che al medesimo istante questa distanza zenitale misurata al centro della terra e riferita alla stessa verticale sarebbe stata di 8″,45 minore di 75°, vale a dire ch'essa sarebbe stata soltanto di 74° 59′ 51″, 55.

La correzione di cui abbiamo detto si può dunque applicare alle osservazioni del sole fatte in un medesimo luogo e nel periodo d'un intiero anno, in guisa da ridurre i risultati delle osservazioni a quelli che si sarebbero ottenuti se si fosse osservato l'astro al centro medesimo della terra; e con ciò si riconosce che il centro del sole rimane quasi rigorosamente sul circolo massimo dell'eclittica, vale a dire che la massima parte delle piccolissime differenze che abbiamo indicato esistere tra il cammino apparente del sole sulla sfera celeste e il circolo massimo dell'eclittica scompare in seguito a questa correzione dell'effetto della parallasse. Fu dunque ragionevole il non fermarci a queste differenze, le quali da altro non derivano che dal non veder noi il sole esattamente alla stessa maniera che se ci trovassimo collocati al centro della terra; per cui potemmo ammettere subito che il centro dell'astro descrive esattamente un circolo massimo della sfera celeste, o in altri termini, che la sua orbita è tutta intiera situata in un piano (45). Vediamo in oltre che questo piano dell'orbita del sole passa pel centro medesimo della terra.

150. Dimensioni del sole. — Mediante la cognizione del diametro apparente del sole, insieme a quella della distanza alla quale esso si trova da noi, possiamo determinare le sue dimensioni. Riferendoci alla definizione della parallasse orizzontale di un astro (148), tosto vediamo che questa parallasse altro non è che l'angolo sotto cui, stando in quest'astro, si vedrebbe di prospetto il raggio della terra, vale a dire è precisamente il semi-

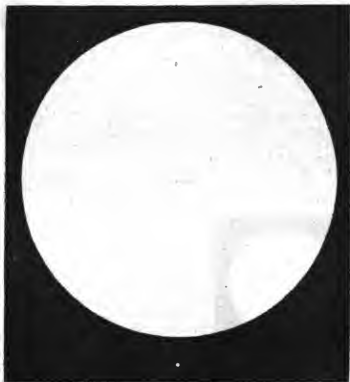



Fig. 220.

diametro apparente della terra veduta dall'astro. Il diametro apparente della terra veduta dal sole è dunque il doppio di 8″,6, o 17″,2 quando il sole è alla sua media distanza dalla terra. D'altronde il diametro apparente del sole veduto dalla terra è eguale a 32′ 3″,3 ovvero 1923″,3 nelle medesime circostanze. Egli è evidente che il rapporto tra questi due diametri apparenti,

corrispondendo essi a una medesima distanza, è eguale al rapporto delle lunghezze dei diametri del sole e della terra, ovvero anche al rapporto delle lunghezze dei loro raggi. Trovasi così che il raggio del sole è eguale a 112 volte il raggio della terra.

Presentandosi a noi il sole sotto la forma d'un disco circolare, e indicandoci l'osservazione, come vedremo fra poco, ch'esso ci mostra successivamente le diverse parti della sua superficie, noi lo dobbiamo riguardare come un corpo di figura sferica. Ora i volumi di due sfere sono tra essi nel rapporto dei cubi dei loro raggi; il volume del sole è dunque eguale a 1 404 928 volte quello della terra (*).

La figura 220 è destinata a porgere un'idea delle grandezze relative del sole e della terra. Al di sotto del gran cerchio, che rappresenta il sole, trovasi un piccolo cerchio quasi impercettibile, che rappresenta la terra. Se si volessero disporre questi due cerchi all'opportuna distanza l'uno dall'altro per rappresentare insieme il rapporto che esiste tra la distanza del sole dalla terra e le loro dimensioni, sarebbe d'uopo che i centri fossero lontani l'uno dall'altro di $16^m,5$.

151. Macchie del sole; sua rotazione. — Osservando il sole per mezzo di cannocchiali, ed anche facendo uso di un debole ingrandimento, vedesi solitamente sulla sua superficie un certo numero di macchie nere di cui la figura 221 può dare un'idea. Ripetendo l'osservazione più giorni consecutivi si riconosce che queste macchie, pur conservando prossimamente le stesse posizioni relative, si spostano sul disco del sole. Una macchia che il primo giorno s'era veduta vicino al lembo orientale di questo disco, se ne allontana ognor più nei giorni seguenti, avvicinandosi al lembo occidentale; in capo a circa quattordici giorni essa raggiunge questo secondo lembo e scompare; quattordici giorni più tardi si vede ricomparire la stessa macchia al lembo orientale del disco, e se si

Fig. 221.

(*) Il raggio del sole è adunque di circa 713 000 chilometri, ovvero maggiore di 178 000 leghe di 4 chilometri, od anche di 385 000 miglia italiane da 60 al grado.

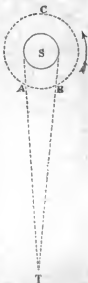
Siccome poi le superficie di due sfere sono tra esse nel rapporto dei quadrati dei loro raggi, così la superficie del sole risulta 12 544 volte quella della terra.

continua ogni giorno ad osservarla la si vede spostarsi sul disco alla stessa maniera di prima. Tutte le macchie si muovono presentando successivamente le medesime circostanze. Vediamo a qual causa si possa attribuire questo curioso fenomeno.

Potrebbesi in primo luogo domandare se le macchie del sole non fossero dovute alla presenza di certi corpi opachi che circolerebbero intorno al sole, e ritornerebbero di tempo in tempo a interporsi tra l'astro e noi, in guisa da nasconderci certe porzioni della sua superficie. Ma le circostanze che presenta il fenomeno contraddicono all'ammissibilità di questa spiegazione. Se un corpo si muovesse intorno al sole S (fig. 222) secondo l'orbita A B C, un osservatore dalla terra T non potrebbe vederlo projettarsi sul disco del sole che quando si trovasse nella porzione A B della sua orbita. Ora dunque, per quanto piccola fosse la distanza di quest'orbita dalla superficie del sole, l'arco A B sarebbe sempre notabilmente più piccolo della metà del suo intiero contorno A B C; e siccome l'osservazione mostra che ogni macchia, dopo essere rimasta visibile per circa quattordici giorni, scompare per un egual tempo per ricomparire in seguito, così converrebbe ammettere che ciascuno di quei corpi che s'interpongono tra il sole e noi per produrre le macchie avesse una velocità variabilissima, in guisa da impiegare precisamente la metà del tempo della sua rivoluzione a percorrere l'arco A B.

Fig. 222.

Sembra assai difficile l'ammettere una tale ipotesi, e riesce assai più naturale il credere che queste macchie, esistendo sulla superficie medesima del sole, ci si presentino sotto differenti aspetti a cagione d'un moto di rotazione del quale l'astro è animato. L'eguaglianza dei tempi durante i quali una macchia è successivamente visibile e invisibile trova tosto la sua spiegazione in quest'idea della rotazione del sole, oltre che si dà con ciò completamente ragione di certe particolarità che presenta il moto delle macchie, e di cui non abbiamo ancora parlato.

Se il sole ruota sopra sè stesso, siccome esso ci appare sempre sotto la forma d'un disco esattamente circolare, così la sua superficie dev'essere sferica. Quando una macchia, in conseguenza della rotazione del sole, passa dall'emisfero che noi non

vediamo su quello che è rivolto dalla nostra parte, essa dapprima descrive un arco di circolo molto obbliquo rispetto alla retta secondo cui la ravvisiamo; e noi vediamo quest'arco di cerchio in iscorcio, e per conseguenza la macchia deve apparirci quasi immobile. Continuando la rotazione del sole, la macchia deve apparirci dotata d'un moto sempre più rapido, finchè raggiunge il mezzo dell'arco che deve descrivere dall'uno all'altro lembo del disco; a partire da questo punto, il suo moto deve ognor più rallentarsi fino all'istante in cui cessiamo di ravvisarla. D'altra parte la forma stessa della macchia deve cangiare colla posizione da essa occupata sul disco: quando la si vede al centro deve mostrarsi sotto la sua vera forma, mentre quanto più essa s'avvicina ad uno dei lembi, la porzione della superficie del sole sulla quale si trova presenta un'obbliquità ognor più grande, e quindi essa deve schiacciarsi ognor più a cagione di questa obbliquità.

L'osservazione fa vedere che tutte queste particolarità esistono nel moto delle macchie del sole, per modo che è impossibile il non ammettere la realtà della rotazione dell'astro sopra sè stesso.

152. Seguendo il moto delle macchie sul disco del sole per un tempo bastantemente lungo, si riconosce che ogni macchia riprende la posizione nella quale la si era veduta da principio in capo a giorni 27, 3. Questa durata di giorni 27, 3 sembra dunque essere quella che il sole impiega a compiere un intiero giro sopra sè stesso; ma gli è facile il riconoscere che ciò non è.

Nello stesso tempo che il sole ruota intorno a una linea retta passante pel suo centro, noi lo vediamo spostarsi descrivendo un'ellisse intorno alla terra; e questi due movimenti si combinano, per dar luogo alle diverse posizioni nelle quali noi vediamo successivamente ciascuna macchia. Supponiamo, per esempio, che ad una cert'epoca siasi veduta una macchia esattamente al centro del disco del sole; se si aspetta per giorni 27, 3 a partire da quest'epoca, si vedrà la macchia ritornare al centro del sole in capo a questo tempo. Quando il sole era in S (fig. 223) all'epoca della prima osservazione, la macchia di cui si tratta trovavasi in a; nel tempo che la macchia sembra abbia fatto un intiero giro intorno al centro dell'astro, questo si trasporta sulla sua orbita da S in S';

Fig. 223.

e quando esso è giunto in S', la macchia trovasi in a'. Se il sole, passando dalla posizione S alla posizione S', avesse fatto esattamente un giro sopra sè stesso nel verso indicato dalla freccia, il suo raggio S a avrebbe assunta la posizione S' b parallela alla sua direzione primitiva: in luogo di ciò questo raggio ha assunta la posizione S' a'; dunque il sole ha fatto più d'un intiero giro: esso ha ruotato di 360° più l'angolo b S' a' uguale all'angolo S T S' che descrive in giorni 27, 3 nel suo moto intorno alla terra. Il tempo impiegato dal sole a compiere esattamente un giro intorno a sè stesso è dunque minore di giorni 27, 3.

Combinando i risultati di numerose osservazioni fatte sopra un gran numero di macchie, il signor Laugier ha trovato che la durata della rotazione del sole è di giorni 25, 34. Esso ha determinato in pari tempo la direzione dell'asse intorno a cui si compie questa rotazione, ed ha riconosciuto che quest'asse fa un angolo di 7° 9' 12" con una perpendicolare al piano dell'eclittica (*).

(*) Il prof. Nervander, di Helsingfors in Finlandia, partendo dalla durata di giorni 27, 23 da Laugier assegnata alla rotazione del sole, quale apparirebbe veduta dal centro della terra, distribuì in opportuni gruppi i risultati delle osservazioni termometriche di Parigi, per modo che anche da queste emerse chiaramente un periodo che se non è perfettamente uguale, pochissimo si discosta da quel medesimo già trovato da Laugier: un tal periodo sarebbe di giorni 27, 26. Per la grande incertezza dei risultati delle osservazioni delle macchie solari, dipendentemente dagli svariatissimi moti proprii delle macchie medesime, potrebbesi anche ritenere che la durata della rotazione geocentrica del sole desunta dalle osservazioni termometriche raggiunga maggiore esattezza che quella già trovata con dirette osservazioni astronomiche, come già a questo proposito fece rimarcare l'illustre Struve, direttore dell'osservatorio di Pulkowa.

Da ciò deriverebbe che le diverse parti della superficie del sole emetterebbero differenti quantità di calorico, per cui la terra verrebbe più o meno a riscaldarsi a seconda della parte che ad essa rivolgerebbe il sole. Secondo i calcoli dello stesso Nervander, la massima differenza nell'azione riscaldante del sole ammonterebbe a 0°,6 C. a Parigi, ed uguale risultamento si avrebbe anche dalle osservazioni termometriche di Innsbruck: per Milano invece, dai calcoli istituiti dal cav. Carlini, questa massima differenza risulterebbe di 0°,7 C. È naturale per altro che l'effetto della variabile azione riscaldatrice del sole risulti maggiore ad una latitudine minore.

Ritenuto poi, secondo i risultati di Laugier, che la rotazione vera del sole si compia in giorni 25, 34, siccome la periferia di un circolo massimo del sole è 112 volte maggiore di quella d'un circolo massimo terrestre, per modo che viene ad ammontare a 1 120 000 leghe da 4 chilometri, ovvero a 2 419 000 miglia italiane, così un punto dell'equatore solare si muoverebbe per questa rotazione con una velocità di circa 30 leghe e mezza, ovvero di 66 miglia italiane per minuto.

Se l'asse di rotazione del sole fosse esattamente perpendicolare al piano dell'eclittica, i cerchi descritti dalle diverse macchie nel loro moto intorno all'asse sarebbero paralleli a questo piano; noi vedremmo costantemente questi circoli pel loro profilo, vale a dire ciascuna macchia ci apparirebbe spostarsi in linea retta sul disco del sole. La leggera obbliquità dell'asse di rotazione del sole fa sì che le cose succedano diversamente. Nelle diverse epoche d'uno stesso anno noi vediamo i cerchi descritti dalle macchie ora pel di sopra ora pel di sotto, se così ci è permesso d'esprimerci: le macchie adunque debbono generalmente apparirci descrivendo sul disco del sole delle linee leggermente curve, volgenti la loro concavità ora verso l'emisfero boreale ora verso l'emisfero australe; e noi non dobbiamo vedere le macchie muoversi in linea retta che a due epoche particolari, nelle quali la terra trovasi nello stesso piano dell'equatore solare. Gli è così che verso il 1.° dicembre le macchie ci sembrano descrivere delle linee rette inclinate secondo una certa direzione rapporto all'eclittica *e e* (fig. 224); dal 1.° di-

Fig. 224. Fig. 225. Fig. 226. Fig. 227.

cembre al 1.° giugno esse descrivono delle curve convesse dalla parte di nord (fig. 225); verso il 1.° giugno descrivono di nuovo delle linee rette (fig. 226), la cui inclinazione è in direzione contraria a quella che avevano al 1.° dicembre; finalmente dal 1.° giugno al 1.° dicembre esse descrivono delle curve concave dalla parte di nord (fig. 227).

153. Nozioni sulla costituzione del sole. — Mediante uno studio attento delle forme e delle apparenze diverse che presentano le macchie del sole, fu possibile giungere ad alcune nozioni sulla costituzione medesima di quest'astro.

Una macchia si compone d'ordinario di due parti ben distinte, una delle quali, occupante il mezzo, è d'un nero pronunciatissimo e porta il nome di *nucleo,* mentre l'altra, che dicesi la *penombra,* si estende più o meno regolarmente per tutto il contorno del nucleo, e presenta una tinta grigiastra (fig. 228). Il nucleo e la penombra sono amendue terminate a contorni netti

e precisi; d'altra parte la penombra ha uno splendore sensibilmente uniforme per tutta la sua larghezza, e se essa apparisce più brillante in certe parti che in altre, ciò ha luogo piuttosto in vicinanza del nucleo, circostanza che si può attribuire a un effetto di contrasto. Vedesi da ciò che il vocabolo penombra non ha qui per nulla lo stesso significato che quando viene usato per designare lo spazio parzialmente illuminato che circonda l'ombra pura d'un corpo esposto ai raggi del sole (117). Non è che per eccezione che veggonsi delle macchie presentanti un nucleo senza penombra, ovvero anche una penombra senza nucleo. Le macchie non affettano d'altronde nessuna forma particolare, e spesso sono aggruppate in guisa da presentare parecchi nuclei circondati da una sola penombra. Si potrà formarsene un'idea mediante le figure 229, 230, 231, che sono l'esatta riproduzione di macchie osservate realmente sul sole.

Fig. 228.

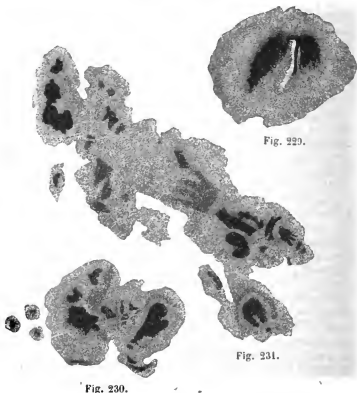
Osservando una macchia per più giorni si riconosce che nel tempo ch'essa si sposta cambia progressivamente di forma, senza che questo cambiamento possa essere intieramente attribuito alla maggiore o minore obbliquità della porzione della superficie del sole sulla quale essa si trova (151). Un gran numero di macchie, sfigurandosi in questo modo, diventano ognor più piccole, e finiscono collo scomparire prima che la rotazione del sole le abbia condotte vicino al lembo occidentale del disco; nello stesso tempo se ne formano altre che veggonsi apparire in punti della superficie ove poco tempo prima non ve n'era traccia. Parimente tra le macchie che il moto di rotazione dell'astro fa scomparire al lembo occidentale del suo disco ve ne hanno molte che non ricompariscono più; e con quelle che si riveggono se ne osservano altre che fino allora non si avevano ravvisate. I cambiamenti che provano le macchie nelle loro forme e nelle loro dimensioni avvengono in generale lentamente; talvolta però sono così repentini da poter essere avvertiti mentre si ha l'occhio al cannocchiale. È raro che una macchia duri più di sei settimane senza scomparire; per eccezione se ne cita una che ha durato 70 giorni. Le macchie raggiungono spesso considerevoli dimensioni; se ne sono vedute alcune che avevano una larghezza uguale a cinque o sei volte il diametro della terra.

La parte brillante della superficie del sole non presenta uno splendore uniforme. In generale esistono intorno alle macchie degli spazii più luminosi della rimanente parte, e che si chiamano *facule*: tutta la superficie d'altronde è coperta di strie

più luminose, che si dicono *lucule*. Herschel, che molto s'è occupato nello studiare la costituzione del sole, dice che si può

Fig. 229.

Fig. 231.

Fig. 230.

formarsi un'idea delle lucule, paragonando la superficie dell'astro alla pelle d'un arancio.

154. Le circostanze che abbiamo annunciate indicano evidentemente che le materie costituenti la superficie del sole sono dotate d'una grande mobilità; e non se ne può dar ragione che ammettendo essere il sole formato, almeno alla superficie, d'una sostanza fluida luminosissima. Quanto alle macchie, alle facule ed alle lucule, vedremo ora mercè quali considerazioni si giunse a spiegarle nel modo più soddisfacente.

Se una macchia fosse dovuta a certe particolarità esistenti soltanto alla superficie esteriore del sole, è facile il vedere quanto

avverrebbe in essa quando la rotazione dell'astro la conducesse in vicinanza al lembo occidentale del disco. La parte della macchia più vicina a questo lembo si presenterebbe all'osservatore più obbliquamente di tutto il resto, e per conseguenza la penombra che circonda la macchia dovrebbe molto più ristringersi dalla parte di questo lembo che non dalla parte opposta. Ora ciò è appunto il contrario di quanto accade: la larghezza della penombra diminuisce più rapidamente nella parte rivolta verso il centro del disco che nella parte opposta; e la penombra scompare anche intieramente dalla parte del centro, mentre conserva ancora una certa larghezza dalla parte del lembo occidentale del disco (fig. 232). Questa notevole circostanza non può spiegarsi che ammettendo che la macchia non esista unicamente sulla superficie del sole, vale a dire considerandola come avente una certa profondità al di sotto di questa superficie. Ciò ammesso, ecco quali sono le idee generalmente adottate dagli astronomi.

Fig. 232.

Si considera il sole come un corpo opaco di forma sferica circondato da ogni parte da un'atmosfera gasosa e trasparente, come ne può porgere un'idea l'atmosfera della terra; e si ammette che in quest'atmosfera galleggino due strati di nubi l'uno al di sopra dell'altro, ciascuno dei quali stendesi tutto intorno al sole. Il più esterno di questi due strati, e che per conseguenza avvolge l'altro da tutte le parti, è costituito di nubi luminosissime, e lo si designa col nome di *fotosfera* (sfera di luce); l'altro strato, intermedio tra la fotosfera e il corpo del sole, è costituito da nubi, poco o nulla luminose per sè stesse. La figura 233 è una sezione ideale d'una porzione di sole, sulla quale vedesi l'indicazione dei due strati nuvolosi dei quali abbiamo parlato.

Supponiamo che per qualsivoglia cagione avvengano nei due strati nuvolosi due aperture corrispondenti *a a'*, *b b'*, le quali potremo paragonare a quegli squarci luminosi che sovente vediamo prodursi nelle nubi della nostra atmosfera; e supponiamo inoltre che, come l'indica la figura, lo squarcio *b b'* della fotosfera sia più grande di quello *a a'* dell'altro strato nuvoloso: un osservatore che si trovi nella direzione A vedrà una porzione del corpo del sole attraverso all'apertura *a a'*; ed è ciò che costituisce il nucleo d'una macchia; vedrà inoltre una porzione dello

strato nuvoloso inferiore tutto intorno a questo nucleo, a cagione della maggior larghezza dell'apertura *b b'*, e questo costi-

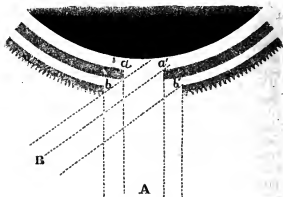



Fig. 233.

tuisce la penombra della macchia. È agevole ora il vedere che, seguendo queste idee, la circostanza particolare che abbiamo indicata nella penombra d'una macchia che s'avvicini al lembo occidentale del disco dell'astro si spiega colla massima facilità. Infatti in questo caso l'osservatore vede la macchia obbliquamente, secondo la direzione B per esempio; e mentre vede ancora la penombra all'occidente della macchia tra i lembi *a'*, *b'* delle due aperture, più non può discernerla dalla parte della macchia che è rivolta verso il centro del disco, poichè il lembo *b* dell'apertura della fotosfera apparisce nella direzione medesima del lembo *a* dell'apertura dello strato interno.

Se gli squarci avvenissero indipendentemente gli uni dagli altri nei due strati nuvolosi sovrapposti, i due squarci non si corrisponderebbero, come abbiamo supposto, che per caso, e ne deriverebbe che le macchie non sarebbero generalmente costituite che d'una penombra, e non si vedrebbero se non accidentalmente uno o più nuclei. Perchè tutto avvenga come lo indica l'osservazione è d'uopo adunque che esista una causa la quale determini la produzione di squarci corrispondenti nei due strati, e che inoltre questa causa dia agli squarci della fotosfera dimensioni maggiori che non a quelli dello strato inferiore. Ora non è difficile trovare una causa che soddisfaccia a queste condizioni: basta ammettere che a certi istanti si sviluppino dallo stesso corpo del sole masse considerevoli di gas, come noi ve-

diamo uscire delle masse di vapore dai nostri vulcani, e che queste masse di gas, elevandosi nell'atmosfera solare, s'aprano un passaggio attraverso alle nubi dei due strati, respingendole dai lati, e in oltre che questo passaggio abbia un'estensione trasversale tanto più grande quanto più il gas che la produce si dilata a cagione della progressiva diminuzione della pressione che sopporta mano mano che s'innalza. Un fatto degno d'osservazione si è che le macchie solari non si generano sulla totalità della superficie dell'astro; non se ne vedono che in una zona la quale, come la zona torrida della terra, stendesi dall'una e dall'altra parte dell'equatore solare fino a una distanza di circa 30 gradi da questo equatore.

Le nubi della fotosfera, spinte dal moto ascensionale del gas, s'accumulano tutto intorno all'apertura prodotta da questo gas; ed una tal grande accumulazione delle nubi luminose può spiegare le facule che di solito circondano le macchie. Quanto alle lucule o strie luminose che esistono per tutta l'estensione della parte brillante del sole, si possono attribuire alle parti sporgenti della superficie necessariamente molto ondulata d'uno strato nuvoloso qual è la fotosfera.

Si comprende che se i due strati nuvolosi, di cui si ammette l'esistenza nell'atmosfera del sole, sono in moto in questa atmosfera, come vediamo le nubi muoversi in quella della terra, le macchie non debbono apparire spostarsi a quella stessa maniera che se partecipassero soltanto al moto di rotazione del sole intorno a sè stesso; che è quanto avviene infatti. Il signor Laugier riconobbe che, se si considera il moto di ciascuna macchia particolare come unicamente dovuto alla rotazione del sole, non si trova la stessa durata di rotazione, nè la stessa direzione per l'asse di rotazione dell'astro, secondo che si ricorre ad una o ad altra macchia per determinarle, in guisa che esso non potè trovare i numeri che precedentemente abbiamo fatto conoscere (152) se non prendendo i medii tra i risultati somministrati dall'osservazione d'un gran numero di macchie. Se poscia si confronta il moto di ciascuna macchia quale risulta dall'osservazione col moto che dovrebbe avere se non partecipasse che alla rotazione del sole così determinata, si riconosce l'esistenza dei moti atmosferici dei quali abbiamo parlato, moti che hanno luogo ora in una, ora in altra direzione.

Può far maraviglia che il corpo del sole, veduto attraverso alle aperture dei due strati nuvolosi, apparisca intieramente nero. Ma in primo luogo non è per nulla impossibile che il

corpo del sole non sia luminoso, malgrado la piccola distanza alla quale trovasi dalla fotosfera, giacchè lo strato nuvoloso inferiore può essere considerato come uno schermo frapposto fra esso e la fotosfera, e si può ammettere che questo schermo faccia sì che la fotosfera non abbia una grande azione luminosa e calorifica sul globo opaco che avvolge. Gli è pure seguendo queste considerazioni che venne fondata l'ipotesi della possibilità che il sole sia abitato. Ma d'altra parte il corpo del sole potrebbe essere luminosissimo per sè medesimo, ed apparirci completamente nero per effetto di contrasto; e perchè si possa ammettere senza alcuna difficoltà quest'ultima spiegazione, basti il dire che un pezzo di calce viva, reso incandescente dalla più forte temperatura che si possa produrre, e portato repentinamente nella medesima direzione del sole, apparisce intieramente nero.

Il signor Arago ha dato ancora maggior consistenza alle idee che abbiamo sviluppate relativamente alla costituzione del sole, dimostrando, con esperienze di polarizzazione, che la luce di quest'astro è della stessa natura di quella d'una fiamma che contiene delle polveri solide in ignizione, come sono la fiamma d'una candela o quella del gas illuminante; mentre si distingue essenzialmente dalla luce emessa da un corpo solido o da un liquido incandescente.

155. **Luce zodiacale.** — A certe epoche dell'anno, osservando alla sera, appena terminato il crepuscolo, il cielo all'occidente, vedesi una luce di forma triangolare stendentesi dall'orizzonte ad un'altezza più o meno grande. Questa luce, la cui larghezza alla base ammonta fino a venti ed anche trenta gradi, e la cui altezza raggiunge talvolta cinquanta gradi, è conosciuta sotto il nome di *luce zodiacale*. Studiando accuratamente la direzione della retta che stenderebbesi per tutta la sua altezza, passando sempre per mezzo alla sua larghezza, si riconosce che questa linea coincide molto approssimatamente col circolo massimo dell'eclittica, in guisa che, se la si prolungasse al di sotto dell'orizzonte, essa andrebbe ad incontrare il sole. La luce zodiacale partecipa d'altra parte del moto diurno della sfera celeste; la sua estremità superiore s'abbassa in conseguenza ognor più, e in capo a qualche tempo scompare affatto.

Formasi un'idea netta delle circostanze che presenta questo fenomeno imaginando che il sole sia circondato da un'immensa atmosfera di forma lenticolare di cui esso occuperebbe il centro (fig. 234), e la cui maggior dimensione sarebbe diretta nel piano

dell'eclittica. Ma questo modo così semplice di dare una spiegazione della luce zodiacale non devesi considerarlo come l'espressione della realtà: vedremo al contrario più avanti che l'atmosfera del sole non può estendersi molto lungi dall'astro, perchè sia possibile di considerarla come causa del fenomeno di cui ci occupiamo. Devesi dunque attribuirla ad altra cagione, e faremo conoscere in appresso la spiegazione che se ne dà in generale. Per ora basterà l'osservare che la materia, qualunque essa sia, la cui presenza ci è indicata dalla luce zodiacale, dev'essere pochissimo condensata, poichè questa luce non impedisce di vedere le piccole stelle che sono nella sua direzione.

Fig. 234.

156. Perchè si possa vedere la luce zodiacale è d'uopo che il cielo sia puro, e che all'istante in cui finisce il crepuscolo la sua estremità superiore trovisi ancora ad un'altezza opportuna, senza di che essa si perderebbe nei vapori dell'orizzonte. Quest'ultima condizione non è soddisfatta a Parigi, ed in generale nelle zone temperate, che a certe epoche dell'anno, come facilmente potremo riconoscere; per cui soltanto in queste epoche si può osservare la luce zodiacale.

Facendo ruotare un globo celeste intorno al suo asse, dopo aver dato a quest'asse l'inclinazione opportuna pel luogo in cui ci troviamo, vedesi il circolo massimo dell'eclittica occupare successivamente differenti posizioni rispetto all'orizzonte; l'angolo che questo circolo massimo fa col piano orizzontale varia entro limiti molto estesi. Siano infatti H H l'orizzonte del luogo (fig. 235), O Z la verticale, E E l'equatore celeste, P Q l'asse del mondo, A B C D l'eclittica in una posizione qualunque, ed O K l'asse dell'eclittica. Durante la rotazione del globo intorno a P Q nel verso della freccia, l'equatore E E ruota intorno a sè stesso senza cambiare di posizione rapporto all'orizzonte, ma non è così dell'eclittica: l'asse O K di questo circolo massimo ruota intorno ad O P, descrivendo una superficie conica, il cui vertice è O e la base è K K′ K″. L'angolo che quest'asse O K fa colla verticale O Z varia in conseguenza, passando per tutti i valori possibili dall'angolo Z O K′ fino all'angolo Z O K″. Ora è chiaro che in ogni istante l'inclinazione dell'eclittica all'orizzonte è uguale all'angolo Z O K formato dalle perpendicolari O K, O Z a questi due piani;

essa varia dunque egualmente tra questi due limiti Z O K'. Z O K''. A Milano, per esempio, l'angolo che la verticale O Z fa coll'asse del mondo O P è di 44° 32': se si aggiunge a quest'angolo l'obbliquità P O K dell'eclittica, che è di 23° 28', trovasi 68° 0'; se al contrario se ne leva quest'obbliquità, trovasi 21° 4'. A Milano dunque l'inclinazione dell'eclittica all'orizzonte varia tra 21° 4' e 68° 0'.

Le variazioni dell'inclinazione dell'eclittica all'orizzonte sono prodotte in virtù del moto diurno della sfera celeste, in guisa che tutti i giorni quest'inclinazione varia tra gli estremi limiti che abbiamo trovati. A una cert'ora della giornata l'angolo che l'eclittica fa coll'orizzonte raggiunge il suo massimo valore uguale a Z O K'', il che ha luogo evidentemente quando la linea degli equinozii A O C trovasi precisamente all'orizzonte, essendo l'equinozio di primavera A all'ovest in F, e l'equinozio di autunno C all'est, se pure siamo situati in un luogo appartenente all'emisfero boreale della terra: allora l'eclittica trovasi nella posizione indicata dalla figura 236. Al contrario ad un'altr'ora lontana dalla prima della metà d'un giorno sidereo, l'angolo dell'eclittica coll'orizzonte raggiunge il suo minimo valore uguale a Z O K'; ed allora la linea degli equinozii è ancora nel piano dell'orizzonte, ma l'equinozio di primavera A è all'est, e l'equinozio d'autunno all'ovest (fig. 237).

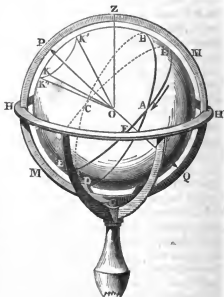



Fig. 235.

Per poter vedere la luce zodiacale all'ora che abbiamo indicata, vale a dire alla sera, terminato che sia il crepuscolo, è d'uopo che a quest'ora l'eclittica faccia coll'orizzonte un'angolo grande, senza di che questa luce, come abbiamo già detto,

si perderebbe nei vapori dell'orizzonte. È dunque necessario che in questo momento l'eclittica trovisi presso a poco collocata come lo mostra la figura 236, vale a dire che l'equinozio

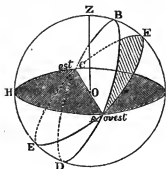
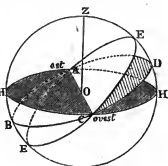



Fig. 236. Fig. 237.

di primavera A sia allora poco lontano dall'orizzonte dalla parte d'ovest; ma il sole in questo istante medesimo ha pure una piccola distanza dall'orizzonte dalla parte di ovest, e per conseguenza il sole dev'essere in un punto dell'eclittica vicino all'equinozio di primavera. Le circostanze sono adunque favorevoli all'osservazione della luce zodiacale verso il 21 marzo, ed è infatti nei mesi di marzo ed aprile che questo fenomeno si osserva in Europa.

La luce zodiacale osservasi egualmente alla mattina all'oriente e prima dell'aurora; ma ciò accade in un'altr'epoca dell'anno. Dovendo ancora l'eclittica, in questo momento, trovarsi presso a poco nella posizione indicata dalla figura 236, l'equinozio d'autunno C dev'essere vicino all'orizzonte dalla parte d'oriente; ma il sole trovasi allora nella stessa regione del cielo, dunque deve essere poco lontano dall'equinozio d'autunno. Così quest'osservazione mattutina può farsi verso il mese di settembre.

MOTO DELLA TERRA INTORNO AL SOLE

157. Il moto del sole non è che un'apparenza dovuta al muoversi della terra intorno a quest'astro. — Studiato il moto diurno del cielo, e riconosciuto che questo moto altro non è che una rotazione uniforme dell'insieme delle stelle intorno all'asse del mondo, ci siamo fermati a considerare se una tal rotazione av-

veniva realmente (74); e l'esame di siffatta quistione ci ha mostrato non essere il moto diurno della sfera celeste che un'apparenza dovuta alla rotazione della terra intorno a sè stessa. Ora che siamo avanzati d'un passo, che abbiamo compreso come si compia il moto del sole, quale lo veggiamo dalla terra, possiamo pure egualmente fermarci a considerare se questo moto sia reale, giacchè potrebbe pure accadere che anch'esso non sia che una mera apparenza dovuta ad un altro moto del quale fosse animata la terra mentre ruota intorno al suo asse. Ed infatti è noto che quando un corpo muovesi nello spazio il suo moto è composto di due parti, di cui l'una è il moto del suo centro di gravità, l'altra una rotazione intorno a questo punto; come ci somministra un esempio sensibile dell'esistenza simultanea di questi due moti una pietra lanciata in una qualunque direzione, giacchè seguendola coll'occhio mentr'essa percorre la sua trajettoria parabolica, la si vede nello stesso tempo ruotare sopra sè stessa più o meno rapidamente secondo la diversa maniera colla quale essa è stata lanciata. Essendo la terra un corpo isolato da tutte le parti (55), e potendo per conseguenza muoversi in qualsivoglia maniera nello spazio, si comprende come, oltre al suo moto di rotazione sopra sè stessa, possa possedere un moto di traslazione in virtù del quale il suo centro occupi successivamente differenti posizioni. Vediamo adunque se mai non fosse questo secondo moto della terra l'unica causa dello spostamento del sole, come l'osserviamo in ogni anno.

Per semplicità continueremo a fare astrazione della rotazione della terra sopra sè stessa, in guisa da ridurre il moto annuo apparente del sole a ciò che sarebbe qualora la sfera celeste non fosse animata del suo moto diurno. In questo caso, essendo immobili le stelle, noi vedremmo il sole projettarsi successivamente frammezzo alle diverse costellazioni, rimanendo però sempre nel piano dell'eclittica, e muovendosi in questo piano conformemente alle leggi che abbiamo già fatto conoscere (147). Esaminata la quistione da questo punto di vista, riescirà facile il vedere come il risultato a cui siamo giunti può combinarsi colle nozioni già acquistate sulla rotazione della terra.

158. È agevole il comprendere che il moto annuo del sole intorno alla terra può spiegarsi facilissimamente considerando quest'astro come immobile e la terra come muoventesi intorno ad esso. E per togliere un paragone agli oggetti che ci sono famigliari, supponiamo un albero isolato in mezzo a una vasta pianura, cinta tutta intorno da una foresta: se noi ci

troviamo posti nella pianura, a poca distanza dall'albero, noi lo vedremmo nella direzione di certi alberi della foresta che lo circonda; cambiando di posizione in maniera da rivolgerci intorno all'albero centrale, noi lo vedremmo successivamente projettarsi sui diversi alberi che guerniscono il contorno della pianura. Se non sapessimo che ci spostiamo e che l'albero che osserviamo è fisso al suolo, noi saremmo naturalmente portati a credere che l'albero ruota intorno a noi; poichè ci apparisce successivamente nella direzione dei diversi punti del contorno della pianura. Ora lo stesso effetto può accadere se all'albero centrale venisse sostituito il sole, e agli alberi della foresta che lo circonda venissero sostituite le stelle. Ammettendo che il sole sia immobile nello spazio e che la terra muovasi intorno ad esso, e trovandoci noi collocati sulla terra, vedremmo il sole successivamente nella direzione delle diverse costellazioni; e non avendo coscienza del nostro proprio movimento, crederemmo che il sole si muova intorno a noi. Così gli è tanto semplice il considerare il moto del sole come una pura apparenza dovuta al muoversi della terra intorno ad esso, come considerare che questo moto esista realmente.

Risulta dalle osservazioni che, considerando la terra come immobile, il sole descrive nel piano dell'eclittica un'ellisse, un foco della quale è occupato dalla terra; e perchè le apparenze siano esattamente le medesime nell'ipotesi del moto della terra intorno al sole, è d'uopo ch'essa descriva egualmente in questo piano un'ellisse, di cui il sole occupi uno dei fochi, e che questa ellisse abbia precisamente le medesime dimensioni di quella che veggiamo essere descritta dal sole: che è quanto facilmente si riconoscerà mediante la figura 258. Sia S S′ S″ S‴ l'ellisse che vediamo essere descritta dal sole intorno alla terra T: se facciamo descrivere un semi-giro a quest'ellisse nel suo piano intorno al punto X, di mezzo di S T, il punto T verrà in S, il punto S in T, e l'ellisse S S′ S″ S‴ assumerà la posizione T T′ T″ T‴: questa seconda ellisse T T′ T″ T‴ è precisamente la linea curva che la terra T deve descrivere intorno al sole S, supposto immobile perchè le apparenze risultino le medesime. Infatti quando vediamo il sole passare da S in S′, la direzione secondo cui lo vediamo passa da T S a T S′; ora se il sole non si sposta e la terra al contrario muovesi da T in T′ descrivendo un arco T T′ precisamente eguale ad S S′, la direzione secondo cui noi vedremo il sole avrà cambiato esattamente nella stessa maniera, poichè la linea T′ S è evidentemente parallela a T S′. Di più la

distanza del sole dalla terra diventa uguale a T S′ quando il sole va da S in S′; ma se è la terra che cambia di posizione,

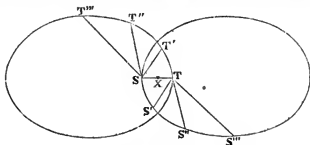



Fig. 238.

e che va da T in T′, rimanendo il sole in S, la distanza tra questi due corpi diventa T′ S, che è evidentemente uguale a T S′. Così in luogo di supporre che il sole percorra successivamente gli archi d'ellisse S S′, S′ S″, S″ S‴, e che la terra rimanga immobile in T, si può ammettere che la terra descriva nei medesimi tempi gli archi T T′, T′ T″, T″ T‴ rispettivamente uguali ai precedenti, e che il sole non si sposti: la direzione secondo cui si vedrà il sole e la distanza di quest'astro dalla terra cangeranno esattamente nella stessa maniera nell'uno e nell'altro caso.

Il moto che devesi attribuire alla terra sull'ellisse T T′ T″ T‴ essendo esattamente lo stesso di quello del sole sull'ellisse S S′ S″ S‴, se ne conclude che, se è vero che sia la terra che muovesi intorno al sole, non solamente essa descrive intorno a quest'astro un'ellisse, di cui questo occupa un foco, ma descrive quest'ellisse seguendo la legge delle aree (147).

159. Potendosi spiegare il moto del sole, quale noi l'osserviamo, colla stessa facilità, sia che si consideri la terra come immobile e il sole muoventesi intorno ad essa, sia al contrario che si consideri la terra come muoventesi intorno al sole, vediamo per quali motivi possiamo preferire l'una o l'altra di queste due idee.

Abbiamo veduto che il diametro del sole è 112 volte più grande di quello della terra (150), ed il rapporto tra le dimensioni di questi due corpi venne anche reso sensibilissimo colla figura 220 (pag. 319). Vedesi pertanto che se uno di questi corpi muovesi intorno all'altro, è assai più probabile che sia questo la terra piuttosto che il sole; e a fatica si potrebbe comprendere che fosse diversamente. L'enorme grandezza del sole rap-

porto alla terra ci conduce naturalmente ad ammettere che sia la terra che muovesi intorno al sole e che genera così le apparenze di cui ci siamo occupati precedentemente.

Questa considerazione delle grandezze relative del sole e della terra non è però la sola ragione che possa valere in favore del moto della terra; molte altre ve ne hanno che non siamo attualmente in grado di sviluppare, e sulle quali ritorneremo appena se ne presenterà l'occasione; ci accontenteremo solo di farne qui una succinta enumerazione.

Quando avremo studiate le apparenze che presentano i moti dei pianeti, vedremo che queste apparenze spiegansi molto più semplicemente nell'ipotesi del moto della terra intorno al sole, che nell'ipotesi della sua immobilità.

Ammettendo che la terra si muova intorno al sole, viene essa a collocarsi tra i pianeti, ed allora si riconosce che il suo moto soddisfà esattamente alle leggi che reggono il moto dei diversi pianeti intorno al sole: si ha dunque in ciò una prova molto sensibile dell'esattezza delle idee per le quali si viene a considerare la terra come un pianeta circolante intorno al sole al pari di tutti gli altri.

L'attenta osservazione delle stelle fece scoprire un fenomeno conosciuto sotto il nome d'*aberrazione*, che naturalissimamente si spiega nell'ipotesi che la terra sia in movimento intorno al sole, mentre sarebbe affatto inesplicabile se la terra fosse immobile.

Finalmente l'ammirabile teoria della gravitazione universale, la cui esattezza venne verificata in numerosissime e svariatissime circostanze, riposa essenzialmente su quest'idea, che il sole è il corpo principale del nostro sistema planetario, e che i diversi pianeti, compresa la terra, sono in movimento intorno a quest'astro centrale.

Siffatte ragioni sono più che sufficienti per farci ammettere il moto della terra come una verità incontestabile, che è quanto faremo d'ora in avanti. E ci accadrà anche talvolta di parlare del moto annuo del sole, a quella maniera che, dopo aver riconosciuta l'esistenza della rotazione della terra sopra sè stessa, parliamo ancora del moto diurno della sfera celeste: dovremo però sempre ricordarsi che non trattasi che del moto apparente, vale a dire del moto quale noi lo veggiamo.

La terra, descrivendo la sua orbita ellittica intorno al sole (158), si allontana e si avvicina alternativamente a quest'astro. In T (fig. 238) essa ne è più vicina che in qualunque altra posizione;

questo punto T, che è il vertice dell'ellisse il più vicino al foco S. dicesi il *perielio* della terra; il vertice opposto dell'ellisse dicesi *afelio*. Si vede che l'etimologia e il significato di questi vocaboli sono affatto analoghi a quelli dei vocaboli *perigeo* ed *apogeo*, che riferisconsi al moto d'un astro intorno alla terra.

160. Muovendosi la terra nello spazio nel tempo stesso che ruota sopra sè stessa, l'asse intorno cui si compie il suo moto di rotazione necessariamente si sposta. Ma siccome quest'asse e il piano dell'equatore celeste ad esso perpendicolare conservano costantemente la medesima posizione rapporto alle stelle, per tutto il corso d'un anno, così devesi conchiudere che le loro direzioni non cambiano, vale a dire che l'asse di rotazione della terra muovesi parallelamente a sè stesso, mentre il suo centro descrive la sua orbita ellittica intorno al sole.

Se col pensiero ci trasportiamo al centro medesimo della terra, questo punto sarà insieme il centro della sfera celeste. Da questo luogo d'osservazione noi vedremo il sole descrivere esattamente sulla sfera celeste il cerchio massimo dell'eclittica (149); l'intersezione del piano di questo cerchio massimo col piano dell'equatore celeste è ciò che noi chiamiamo la linea degli equinozii. Il primo di questi due piani altro non è che il piano dell'ellisse secondo cui il centro della terra muovesi intorno al sole; quanto al piano dell'equatore celeste, esso si sposta conservandosi parallelo a sè stesso: la linea degli equinozii si sposta dunque egualmente, ma conservando sempre la stessa direzione.

È agevole il rendersi ragione delle posizioni che la terra assume successivamente intorno al sole nel periodo d'un anno, e comprendere come avvengano le differenze delle stagioni. Essendo la terra in una posizione qualunque T (fig. 239), il suo asse di rotazione P Q è diretto in guisa da fare un angolo di 23° 28′ colla perpendicolare T K al piano dell'eclittica; ed il piano del suo equatore E E taglia il piano dell'eclittica secondo una linea retta T A, che è la linea degli equinozii. Mentre il centro T della terra percorre la curva T T′ T″ T‴, che qui è veduta obbliquamente, il suo asse P Q assume successivamente le posizioni P′ Q′, P″ Q″, P‴ Q‴, mantenendosi parallelo a sè stesso, e la linea degli equinozii T A si trasporta nello stesso tempo in T′ A′, T″ A″, T‴ A‴ senza cambiare direzione. In un istante dato il sole illumina e riscalda la metà della superficie della terra che è rivolta dalla sua parte; e il moto di rotazione della terra sopra sè stessa conduce in ciascun giorno quasi tutta la

superficie del globo a partecipare di questa benefica influenza. Ma, a cagione dell'obbliquità dell'asse P Q, uno dei due poli è rivolto dalla parte del sole, mentre l'altro è rivolto dalla parte opposta; e ne risulta che le regioni che trovansi vicine a questi due poli rimangono costantemente l'una nella parte illuminata del sole, l'altra nella parte non illuminata. Il moto di traslazione della terra intorno al sole fa sì che queste circostanze non si producano sempre nella stessa maniera; i due poli trovansi ciascuno alla sua volta nell'opportuna posizione per ricevere i raggi del sole. Quando la linea degli equinozii T A raggiunge la posizione T' A', che passa pel centro del sole S, si ha l'equinozio di primavera; e appena la terra ha oltrepassata cotesta posizione per portarsi in T'', il polo boreale P'' trovasi rivolto verso il sole. Questo polo riceve i raggi solari finchè la terra arriva in T''', ove la linea degli equinozii T''' A''' è di nuovo diretta verso il sole S; e in

Fig. 239.

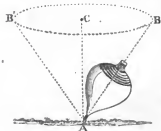
questa nuova posizione si ha l'equinozio d'autunno. Continuando la terra a muoversi, il polo boreale cessa d'essere illuminato, il polo australe lo è alla sua volta, finchè la terra ritorna in T', vale a dire fino al principio della primavera seguente. Ed assai bene si comprende con ciò come avvenga che la porzione dell'emisfero boreale della terra che resta illuminata per tutta la durata d'un giorno aumenti continuamente d'estensione dall'equinozio di primavera fino al solstizio d'estate, e poscia diminuisca progressivamente dal solstizio d'estate all'equinozio d'autunno; e come del pari si producano circostanze analoghe dall'equinozio d'autunno fino all'equinozio di primavera nella regione che trovasi vicina al polo australe della terra.

161. **Precessione degli equinozii.** — Abbiam detto che, mentre la terra muovesi intorno al sole, il suo asse di rotazione si sposta mantenendosi sempre parallelo a sè stesso; ma ciò non avviene a tutto rigore. L'asse di rotazione della terra conserva molto sensibilmente la medesima direzione nello spazio per tutto il corso di uno stesso anno; ma confrontando le posizioni occupate da esso a due epoche lontane l'una dall'altra d'un certo numero d'anni, si riconosce che la sua direzione ha notevolmente cangiato.

Ci formeremo un'idea nettissima di questo progressivo cangiamento nella direzione della linea dei poli della terra, paragonando il moto di rotazione del globo col moto di una trottola (fig. 240). Spesso vedesi l'asse di figura A B della trottola assumere una posizione obbliqua rispetto alla verticale che passa pel suo punto d'appoggio A sopra il suolo; ma allora, mentre la trottola ruota intorno a quest'asse, muovesi anch'esso, ruotando intorno alla verticale e serbando sempre la stessa obbliquità; l'asse della trottola descrive così la superficie di un cono B A B', il cui asse è la verticale A C.

B' C B A

Fig. 240.

La rotazione della terra intorno al suo centro compiesi in condizioni affatto analoghe: mentre essa ruota intorno alla sua linea dei poli, questa linea, inclinata di 23° 28' sulla perpendicolare al piano dell'eclittica, descrive la superficie di un cono intorno a questa perpendicolare, e assume così nello spazio direzioni successivamente diverse. Se a questo moto di rotazione,

più complesso che non abbiamo indicato da principio, congiungiamo il moto del centro della terra intorno al sole, avremo un'idea completa del moto della terra nello spazio.

Il moto di rivoluzione della linea dei poli T P (fig. 241) intorno alla perpendicolare T K al piano dell'eclittica è lentissi-

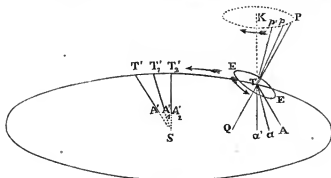



Fig. 241.

mo, in guisa che in capo ad un anno questa linea T P occupa una posizione T p vicinissima a quella che essa occupava al principio di quest'anno; onde accade che per tutto il corso d'un anno si può considerare l'asse di rotazione della terra come parallelo a sè stesso. Ma il cambiamento di direzione di quest'asse, sebben piccolissimo, non cessa per altro d'aver luogo, che anzi avviene continuamente; per cui il piano dell'equatore celeste, condotto pel centro della terra perpendicolarmente alla linea dei poli T P, cambia pure poco a poco di direzione; e in conseguenza la linea degli equinozii T A, intersezione di questo piano col piano dell'eclittica, ruota lentamente intorno al centro T della terra, rimanendo però in questo piano. Siccome nel periodo d'un anno la linea dei poli dalla direzione T P viene a passare nella direzione T p, così la linea degli equinozii, che era dapprima diretta secondo T A, verrà a prendere la direzione T a: in capo a un secondo anno avendo la linea dei poli assunta la direzione T p', la linea degli equinozii sarà diretta secondo T a'; e così di seguito.

Questo progressivo cambiamento nella direzione della linea degli equinozii esercita un'influenza sulle epoche nelle quali cominciano le diverse stagioni di ogni anno. La primavera comincia quando questa linea è nella posizione T' A' passante pel

sole S; e se essa si mantenesse sempre parallela a sè stessa, la primavera dell'anno seguente non comincerebbe che quando la terra, compiuto il giro dell' eclittica, tornerebbe di nuovo a portarsi in T'; ma non è così. Avuto riguardo alla direzione secondo cui la linea degli equinozii ruota nel piano dell' eclittica, se la primavera ha cominciato ad una cert'epoca quando la terra era in T', essa comincerà l'anno seguente quando sarà in T'_1, in guisa che la nuova direzione $T'_1 A'_1$ della linea degli equinozii passa ancora pel sole S; un anno più tardi la primavera comincerà quando la terra sarà in T'_2, e così di seguito. L'epoca in cui giunge l'equinozio di primavera *precede* adunque in ogni anno d' una certa quantità quella in cui sarebbe arrivato se l'asse della terra non provasse quel continuo cambiamento di direzione di cui ci occupiamo; gli è perciò che il moto di rivoluzione di quest'asse intorno alla perpendicolare al piano dell' eclittica è designato sotto il nome di *precessione degli equinozii.*

162. Vediamo come questo progressivo cambiamento nella direzione della linea dei poli, e per conseguenza della linea degli equinozii, può influire sui moti apparenti che abbiamo studiati, e come per conseguenza il fenomeno della precessione degli equinozii potè essere scoperto mediante l'osservazione di questi moti apparenti.

La prima nozione che abbiamo acquistata sui moti degli astri è quella della rotazione diurna della sfera celeste intorno alla linea dei poli; e noi ci siamo appoggiati alla cognizione di questo moto per scegliere nel cielo certe linee alle quali in seguito abbiamo riferite le posizioni dei diversi astri. Tra queste linee l'equatore celeste è quella che presenta maggiore importanza. Ma riconosciuto appena che il moto diurno degli astri era una mera apparenza dovuta alla rotazione della terra intorno ad un asse condotto pel suo centro, potemmo subito vedere che questo equatore celeste non esisteva realmente nel cielo, fuori della terra. Se la terra venisse annientata, ovvero se cessasse di ruotare sopra sè stessa, non vi sarebbe più traccia alcuna di quest'equatore, che pure da principio abbiamo considerato come una linea immutabile e tanto fissa da farci riconoscere se un astro trovavasi in quiete od in moto.

Tali considerazioni ci conducono naturalmente a non poter più attribuire all'equatore celeste quel carattere di stabilità che in esso abbiamo da principio supposto. La posizione di questo circolo massimo della sfera celeste essendo determinata dalla

direzione dell'asse di rotazione della terra, un cambiamento nella direzione di quest'asse deve produrne uno corrispondente nell'equatore; in guisa che dovendo considerare l'universalità delle stelle come costituente, a dir vero, la parte fissa della sfera celeste, il cerchio massimo dell'equatore deve progressivamente spostarsi su questa sfera. In virtù di questo spostamento l'equatore deve successivamente tagliare l'eclittica in diversi punti, vale a dire gli equinozii debbono muoversi lungo l'eclittica. Così essendo E E (fig. 242) la posizione dell'equatore sulla sfera celeste in una cert'epoca, e A B C D quella dell'eclittica, che il centro del sole sembra percorrere nel verso della freccia, l'equatore deve successivamente portarsi in E′ E′, E″ E″,... in guisa che l'equinozio di primavera, passando da A in A′, poi da A′ in A″, e così di seguito, muovesi con direzione contraria a quella secondo cui il sole percorre l'eclittica. Vedesi infatti che con un tale spostamento dell'equatore, e per conseguenza degli equinozii, il sole, partendo dall'equinozio di primavera A, vi ritornerà un po' prima d'aver compiuto il giro dell'eclittica siccome abbiamo enunciato (161).

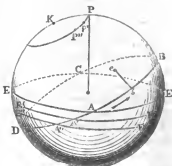



Fig. 242.

In virtù di questo moto dell'equatore sulla sfera celeste le stelle, pur rimanendo immobili, cambiano posizione rispetto ad esso; l'ascensione retta e la declinazione di ciascuna di esse debbono dunque variare continuamente; e queste variazioni, che si possono verificare confrontando le ascensioni rette e le declinazioni osservate ad epoche fra loro lontane, possono servire alla determinazione del moto dell'equatore.

Ma tutto si semplifica quando, invece di paragonare i diversi valori che ad epoche differenti hanno l'ascensione retta e la declinazione d'una medesima stella, si confrontano i valori corrispondenti della sua longitudine e della sua latitudine (141). Lo spostamento dell'equatore sulla sfera celeste non cambia la posizione della stella *e* (fig. 242) rispetto all'eclittica; la latitudine *e b* della stella deve dunque rimanere costantemente la stessa, e la longitudine A *b* non deve variare che a cagione del moto dell'equinozio A, che l'equatore seco trasporta in direzione

contraria al moto apparente del sole sull'eclittica. Così il moto dell'equatore sulla sfera deve rendersi manifesto dall'incremento continuo che provano le longitudini delle differenti stelle, incremento che dev'essere lo stesso per tutte.

E fu verificando questo progressivo aumento delle longitudini delle stelle che Ipparco scoprì la precessione degli equinozii. Il lungo intervallo di tempo trascorso dall'epoca delle osservazioni fatte da questo grande astronomo fa sì che noi possiamo mettere in evidenza questo fenomeno assai più di quanto esso potè farlo. Così aveva egli trovato, nell'anno 128 avanti Gesù Cristo, che la longitudine della Spica della Vergine era di 174°; e d'altra parte dalle osservazioni fatte da Maskelyne la longitudine di questa stella nel 1802 era di 201° 4′ 41″; l'eccesso, sorpassante 27°, dell'ultimo numero sul primo, è dovuto per intiero allo spostamento dell'equinozio di primavera sull'eclittica, avvenuto nel lungo intervallo di tempo, 1930 anni, che separa le osservazioni d'Ipparco e di Maskelyne.

L'esempio citato può servire a determinare la quantità di cui l'equinozio di primavera, per termine medio, si è spostato in ogni anno nell'intervallo di tempo a cui si riferisce. Ma si può anche trovare la grandezza di questo spostamento annuo dell'equinozio paragonando i risultati d'osservazioni fatte ad alcuni anni d'intervallo coi medii precisi che attualmente si posseggono; e trovasi così che l'equinozio percorre in ogni anno sull'eclittica un arco di 50″,2. Converrebbe pertanto che trascorressero circa 26 mila anni, perchè l'equinozio, conservando sempre la velocità colla quale attualmente si muove, compisse l'intiero giro dell'eclittica.

Siccome spesso in astronomia si hanno a considerare dei moti che avvengono sulla sfera celeste, sia secondo l'eclittica, sia secondo linee che molto non se ne allontanano, così vennero adottate espressioni speciali per designare la direzione secondo cui questi movimenti avvengono. Qualunque moto che si compia nella direzione secondo la quale il sole percorre l'eclittica prende il nome di *moto diretto;* e qualunque moto che succeda con direzione a questa contraria dicesi *moto retrogrado.* È facile il vedere da quanto precede che il moto dell'equinozio di primavera è retrogrado, per cui talvolta si dà a questo moto il nome di *retrogradazione degli equinozii.*

163. S'egli è vero che la linea dei poli della terra descrive una superficie conica di rivoluzione intorno alla perpendicolare al piano dell'eclittica come intorno ad un asse (161), l'angolo

compreso tra il piano dell'eclittica e il piano dell'equatore, vale a dire l'angolo che comunemente si designa sotto il nome d'obbliquità dell'eclittica, deve ritenere costantemente il medesimo valore di 23° 28′, che è quanto press'a poco accade; mentre non porremo mente per ora alle variazioni che prova quest'angolo, sulle quali ritorneremo fra poco.

Supposto che il moto conico dell'asse della terra intorno alla perpendicolare al piano dell' eclittica continui indefinitamente coi caratteri che presenta all'epoca attuale, dovranno risultare considerevoli modificazioni nelle posizioni delle stelle relativamente all' equatore ed ai poli della sfera celeste. Il polo P si sposta descrivendo la piccola circonferenza di cerchio P P′ P″, i cui punti sono tutti lontani di 23° 28′ dal polo K dell' eclittica; esso dunque assume differenti posizioni nelle costellazioni attraversate da questa piccola circonferenza.

La stella polare, che toglie il suo nome dalla posizione che occupa vicinissima al polo boreale, non è sempre stata in queste condizioni. Il polo boreale vi si avvicina continuamente da lunghissimo tempo; presentemente ne è ad una distanza di circa un grado e mezzo, e questa distanza diminuirà ancora fin verso l'anno 2120, in cui non sarà più che di circa un mezzo grado. A partire da quest'epoca, il polo boreale si allontanerà da questa stella, e in 13 mila anni si porterà ad una distanza da essa di circa 47 gradi; laonde molto prima di quest' epoca cesserà questa stella di trovarsi nelle condizioni che le fecero dare il nome di stella polare.

In virtù del moto della precessione il polo boreale s'avvicina continuamente alla stella Vega, da cui attualmente è lontano più che di 51 gradi: fra 12 mila anni non ne sarà più che ad una distanza di circa 5 gradi, e questa stella pel suo vivo splendore verrà sostituita con vantaggio all'attuale stella polare.

Presentano un notabile effetto della precessione degli equinozii le posizioni che occupano i segni dell'eclittica (129) rispetto alle costellazioni donde traggono i loro nomi. All' epoca d'Ipparco i segni dell' eclittica erano designati coi nomi delle costellazioni in mezzo delle quali trovavansi collocati: la retrogradazione degli equinozii ha dappoi continuamente spostati i segni fra le costellazioni; giacchè, serbandosi l'eclittica divisa in 12 parti eguali, il moto retrogrado dell'equinozio di primavera, che è uno dei punti di divisione, determina necessariamente un moto analogo per gli altri punti. Quindi venne che i segni dell' eclittica, pur conservando i medesimi nomi,

sono a poco a poco usciti dalle costellazioni in mezzo delle quali dapprima si trovavano, per trasportarsi nelle costellazioni vicine. Abbiamo veduto (162) che da Ipparco all'epoca attuale l'equinozio di primavera ha retrogradato più che di 27°, vale a dire d'una quantità che molto non differisce dalla grandezza di ciascun segno; per conseguenza, ciascun segno occupa ora sull'eclittica press'a poco il posto che occupava il segno precedente ai tempi d'Ipparco: facilmente ce ne avvediamo gettando gli occhi sulla tavola II (pag. 202). Seguendo da destra a sinistra la linea sinuosa che rappresenta lo sviluppo dell'eclittica, partendo dal punto in cui questa linea taglia l'equatore, verso la destra della carta, s'incontrano successivamente le costellazioni dei Pesci, dell'Ariete, del Toro, dei Gemelli, ecc., vale a dire il segno dell'Ariete è nella costellazione dei Pesci, quello del Toro nella costellazione dell'Ariete, e così di seguito.

164. **Diminuzione secolare dell'obbliquità dell'eclittica.** — In quanto precede abbiamo considerata l'obbliquità dell'eclittica come se rimanesse sempre la stessa, poichè abbiamo detto che l'asse della terra descrive una superficie conica di rivoluzione intorno alla perpendicolare al piano dell'eclittica; che è quanto dire che la prima linea si sposta facendo sempre lo stesso angolo colla seconda. Ma rigorosamente non è così, come si riconosce confrontando fra loro i valori dell'obbliquità dell'eclittica trovati ad epoche diverse lontane le une dalle altre, il che è messo in piena evidenza dal seguente quadro.

DATE delle osservazioni.	NOMI degli osservatori.	LUOGHI di osservazione.	OBBLIQUITÀ
1100 av. G. C.	Tcheou Koung. . .	China. . . .	23° 54′
350 id.	Pitea.	Marsiglia. .	23° 49′
250 id.	Eratostene.	Alessandria .	23° 46′
50 id.	Lieou Hiang. . . .	China. . . .	23° 46′
173 d. G. C.	. . . .	China. . . .	23° 41′
461 id.	Tsou Choug. . . .	China. . . .	23° 39′
629 id.	Litchou Foung. . .	China. . . .	23° 40′
880 id.	Albategnio.	Arabia. . . .	23° 36′
1000 id.	Ebn Jounis.	Cairo.	23° 34′
1279 id.	Cocheou King. . .	Pechino. . .	23° 32′
1437 id.	Ulug Bey.	Samarkanda.	23° 31′
1800 id.	Delambre.	Parigi. . . .	23° 28′

Vedesi che l'obbliquità è continuamente diminuita dall'epoca delle più antiche osservazioni che si conoscano; ma tale diminuzione è debolissima relativamente al moto della precessione che abbiamo studiato negli antecedenti numeri, in guisa che, anche per un tempo bastantemente lungo, si può farne astrazione e considerare per conseguenza lo spostamento dell'asse della terra come se avvenga sulla superficie d'un cono di rivoluzione intorno alla perpendicolare al piano dell'eclittica.

Naturale sarebbe la ricerca della causa da cui deriva questa lenta diminuzione dell'obbliquità dell'eclittica; se debba cioè attribuirsi a un lento avvicinamento dell'asse della terra all'asse dell'eclittica, mentre ruota intorno ad esso; ovvero se la si debba considerare come derivante da un debole spostamento che avvenga nell'asse medesimo dell'eclittica, mentre l'asse della terra ruota intorno ad esso. Anche il piano dell'eclittica, come il piano dell'equatore, può cambiare direzione nello spazio; e comprendesi infatti che può benissimo accadere che il centro della terra, mentre si muove intorno al sole, non rimanga sempre esattamente nel medesimo piano: la sola osservazione può decidere la quistione.

Fino a Ticho-Brahé l'eclittica venne supposta immobile nel cielo; ma avendo notato quest'astronomo che le latitudini delle stelle situate verso i solstizii avevano variato almeno d'un terzo di grado dalle prime osservazioni della scuola d'Alessandria, conchiuse che l'eclittica spostavasi lentamente nello spazio. L'attento esame delle variazioni provate dalle latitudini delle diverse stelle ha fatto vedere che il moto dell'eclittica molto non differisce da quello che avrebbe questo circolo massimo se ruotasse intorno alla linea degli equinozii come intorno ad una cerniera per confondersi col piano dell'equatore.

Così l'angolo che l'equatore fa coll'eclittica non varierebbe se l'eclittica conservasse una posizione fissa nello spazio; l'equatore non farebbe che ruotare intorno all'asse dell'eclittica, in guisa che la linea dei poli descriverebbe la superficie di un cono di rivoluzione intorno a quest'asse. Ma l'eclittica cambiando insensibilmente di direzione nello spazio, risulta che il moto retrogrado degli equinozii è accompagnato da una lenta diminuzione dell'obbliquità dell'eclittica.

Dalle moderne osservazioni risulta che questa diminuzione dell'obbliquità è attualmente di 48″ per secolo, ossia di 0″,48 per anno. Secondo Delambre il valore dell'obbliquità nel 1800 era di 23° 27′ 57″; se ne potrà facilmente dedurre il valore di que-

st'angolo per un'altr'epoca: così nel 1850 essa era di 23° 27′ 35″, e nel 1900 si ridurrà a 23° 27′ 9″.

L'obbliquità dell'eclittica ha servito di base alla divisione della terra in cinque zone (134). Il continuo cambiamento del valore di questa obbliquità trae seco un corrispondente spostamento dei tropici e dei circoli polari, i primi dei quali s'avvicinano continuamente all'equatore, mentre gli altri si restringono avvicinandosi ai poli. Ma il cambiamento d'estensione risultante per la zona torrida e per le zone glaciali è siffattamente debole che anche per un tempo lunghissimo queste zone si possono considerare come inalterate.

165. **Lento spostamento del perielio della terra.** — Nello stesso tempo che il piano dell'orbita descritta dalla terra intorno al sole cambia poco a poco di direzione nello spazio, l'ellisse ch'essa percorre ruota lentamente in questo piano, per modo che il suo asse maggiore assume successivamente differenti posizioni. È agevole il vedere come questo movimento potè essere confermato dalle osservazioni.

Il moto della terra intorno al sole dà origine, come abbiamo veduto, al moto apparente del sole intorno alla terra. In questo moto apparente sembra che il sole descriva un'ellisse precisamente eguale a quella che la terra descrive intorno ad esso, e le direzioni degli assi maggiori di queste due ellissi sono esattamente le stesse (158). Ne risulta necessariamente che, se l'asse maggiore dell'orbita ellittica della terra cambia direzione nel suo piano, lo stesso deve accadere dell'asse maggiore dell'ellisse che sembra descrivere il sole intorno alla terra. Ora la posizione dell'asse maggiore di quest'ultima ellisse è indicata dal valore della longitudine del perigeo solare; basta dunque confrontare i valori di questa longitudine, ottenuti a due epoche lontane l'una dall'altra, per riconoscere se in quest'intervallo il perigeo è rimasto immobile, ovvero ha cambiato posizione.

Flamsteed ha trovato, nel 1690, che la longitudine del perigeo solare era di 277° 35′ 31″; nel 1775 questa longitudine, secondo Delambre, era di 279° 3′ 17″: essa ha dunque variato in quest'intervallo di 1° 27′ 46″, ovvero di 5266″; ciò che produce 61″,9 per anno. Se quest'incremento annuo della longitudine del perigeo solare fosse soltanto di 50″,2, quantità di cui ogni anno retrograda l'equinozio di primavera, si concluderebbe che il perigeo sarebbesi conservato allo stesso posto rispetto alle stelle; l'incremento della sua longitudine dovrebb'essere unicamente attribuito al moto dell'equinozio, al pari dell'incremento che pro-

vano continuamente le longitudini delle stelle (162). Ma la longitudine del perigeo aumenta ogni anno di 11",7 di più della longitudine delle stelle; ciò non può derivare che da uno spostamento del perigeo sull'eclittica di 11",7 per anno con moto diretto. Così mentre la linea degli equinozii T A (fig. 243) retro-

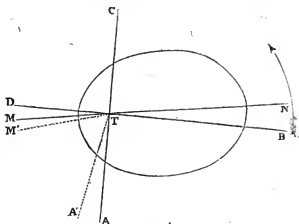



Fig. 243.

grada per prendere la posizione T A', l'asse maggiore T M ruota in guisa d'acquistare la direzione T M', per modo che la longitudine del perigeo M, contata a partire dalla linea degli equinozii e nel verso della freccia, s'accresce della somma degli angoli A T A', M T M'.

La differenza nella durata delle diverse stagioni (147) viene determinata dalla posizione dell'asse maggiore dell'ellisse solare rapporto alle linee degli equinozii e dei solstizii. Il moto di quest'asse maggiore rapporto agli equinozii ed ai solstizii, risultante dalla combinazione dello spostamento proprio dell'asse maggiore colla retrogradazione degli equinozii, deve dunque produrre dei cambiamenti nelle durate relative delle stagioni. Rimontando nella serie dei secoli trovansi delle epoche nelle quali le durate delle stagioni presentarono circostanze diversissime da quelle che presentano all'epoca attuale. Così nell'anno 1250 dell'era cristiana l'asse maggiore T M coincideva colla linea dei solstizii T D, e il perigeo aveva la stessa longitudine del solstizio d'inverno: a quest'epoca la durata della primavera era eguale a quella dell'estate, e la durata dell'autunno eguale a quella dell'inverno.

Rimontando ancora più lungi, e attribuendo sempre la stessa velocità al moto del perigeo solare rapporto all'equinozio di primavera, si giunge a questo notevole risultato, che il perigeo coincideva coll'equinozio d'autunno C verso l'anno 4000 avanti Gesù Cristo, epoca in cui la maggior parte dei cronologi fissano la creazione del mondo: allora le durate della primavera e dell'estate insieme formavano una somma uguale a quella delle durate dell'autunno e dell'inverno.

166. **Aberrazione.** — La terra non può muoversi intorno al sole descrivendo l'orbita ellittica, di cui abbiamo parlato, senza che ne risulti per noi uno spostamento apparente delle stelle le une rispetto alle altre. Considerando, per esempio, due stelle situate in una regione del cielo donde la terra s'allontana ad una cert'epoca dell'anno, è chiaro che la distanza angolare di queste due stelle deve andare diminuendo; e quando in appresso la terra si avvicina a questa regione del cielo, la distanza delle due stelle deve aumentare. Ma quest'effetto è necessariamente tanto meno sensibile quanto maggiore è la distanza che separa la terra dalle stelle rispetto alle dimensioni dell'orbita terrestre; per modo che, se la distanza alla quale noi ci troviamo dalle stelle fosse come infinitamente grande per rispetto alla distanza del sole dalla terra, il moto apparente delle stelle, del quale parliamo, diverrebbe affatto insensibile; le dimensioni dell'orbita della terra, malgrado la sua grandezza che noi già conosciamo, sarebbero come nulle a lato dell'enorme distanza delle stelle, e tutto accadrebbe alla stessa maniera come se la terra fosse immobile.

Dacchè gli astronomi, adottando le idee sostenute da Copernico, presero a considerare il moto della terra intorno al sole come una verità incontrastabile, nulla dalle osservazioni era emerso che indicasse l'esistenza del moto apparente delle stelle, che ne è conseguenza necessaria; quando Bradley (*) intraprese una serie di ricerche allo scopo di riempire questa lacuna della scienza. Le osservazioni fatte da esso con tal grado di precisione che fino allora non erasi raggiunto, non ebbero sotto questo rapporto il successo che se ne attendeva; mentre anch'egli non giunse più che i suoi predecessori a mettere in evidenza un tale effetto del moto della terra, la cui scoperta avrebbe avuto il doppio vantaggio di somministrare una prova di più

(*) Celebre astronomo inglese nato nel 1692, morto nel 1762. Nel 1741 fu nominato direttore dell'osservatorio di Greenwich. (*L'Autore.*)

della realtà di questo moto, e di far conoscere la distanza che ci separa da certe stelle. Ne fu però ampiamente ricompensato colla scoperta di due fenomeni d'una grande importanza, l'aberrazione cioè e la nutazione dell'asse della terra. Prima di far conoscere in che consistano questi due fenomeni, entriamo in alcuni particolari relativamente al moto che Bradley cercava, e che non ha ritrovato.

167. Se un osservatore fosse collocato al centro medesimo del sole per osservare una stella, l'immobilità del sole farebbe sì ch'esso vedrebbe la stella sempre nella medesima direzione. Ma se, in luogo d'occupare questa posizione invariabile, esso trovasi sulla terra, che seco lo trasporta nel suo moto annuo intorno al sole, tutto deve accadere diversamente. La direzione secondo la quale esso vede la stella in un istante qualunque non è quella stessa secondo la quale esso la vedrebbe se fosse al centro del sole, e l'angolo compreso tra queste due direzioni cambia col tempo di grandezza e di posizione: la stella deve dunque sembrare di muoversi nel cielo a seconda dello spostamento che prova l'osservatore.

Supponiamo che ad un'epoca qualunque la terra sia in T (fig. 244), sulla sua orbita T T′ T″ T‴, e che la stella osservata

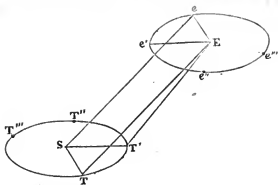



Fig. 244.

sia in E; questa stella sarà veduta nella direzione T E. In capo a qualche tempo, essendosi la terra trasportata in T′, la stella apparirà in una direzione T′ E diversa da quella T E, secondo la quale la si vedeva dapprima. E per renderci conto del progressivo cambiamento di questa direzione secondo la quale vedesi la stella E, a misura che la terra si sposta, cerchiamo come

la stella medesima dovrebbe spostarsi, perchè un osservatore immobile al centro del sole la vedesse successivamente alla stessa maniera come la si vede dalla terra.

Quando la terra è in T la stella apparisce secondo la direzione T E; se si conduce la retta S e uguale e parallela a T E, in guisa che la retta E e sia pure uguale e parallela a T S, la stella dovrà trovarsi in e perchè l'osservatore situato al centro S del sole la possa vedere esattamente come la si vede dalla terra. Parimente quando la terra è in T′, conducendo E e' uguale e parallela a T′ S, sarà e' la posizione che dovrebbe avere la stella per essere veduta dal punto S come la si vede dal punto T′. Così operando per le diverse posizioni della terra sulla sua orbita T T′ T″ T‴, si vedrà che un osservatore immobile al centro S del sole discernerebbe successivamente la stella E secondo le medesime esatte direzioni, nel caso che la stella medesima percorresse la curva $e\ e'\ e''\ e'''$, che è uguale evidentemente all'orbita T T′ T″ T‴ della terra, e collocata in un piano parallelo al piano di quest'orbita.

Così, in virtù dell'annuo moto della terra intorno al sole, deve sembrare che ogni stella descriva annualmente, in un piano parallelo al piano dell'eclittica, una curva $e\ e'\ e''\ e'''$ (fig. 245), che, senza declinar molto dal vero, si può considerare come una periferia di cerchio; o piuttosto, siccome noi riferiamo tutto alla superficie della sfera celeste, la stella deve sembrare muoversi su questa sfera percorrendo la curva $m\ p\ n\ q$, secondo la quale essa taglia la superficie del cono O $e\ e'\ e''\ e'''$. Attesa la grande distanza della stella dalla terra, la porzione della superficie della sfera celeste che trovasi internamente a questo cono è piccolissima e può essere consi-

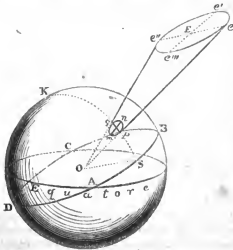



Fig. 245.

derata come una superficie piana; in guisa che la curva *m p n q* è un'ellisse che ha il suo asse maggiore *m n* parallelo all'eclittica, e il suo asse minore *p q* diretto perpendicolarmente a questo circolo massimo. Il rapporto tra *p q* ed *m n* varia d'altronde secondo che l'asse del cono è più o meno obbliquo al piano della sua base, o, ciò che torna lo stesso, al piano dell'eclittica; in guisa che, per una stella che fosse situata al polo medesimo dell'eclittica, *p q* sarebbe eguale ad *m n*, e l'ellisse diverrebbe un circolo; e se si considerano stelle aventi latitudini ognora più deboli, trovasi che le ellissi ch'esse debbono descrivere sono sempre più schiacciate per modo da ridursi a semplici linee rette per le stelle che trovansi precisamente sull'eclittica. Quanto alle dimensioni apparenti di quest'ellisse, che ciascuna stella sembra descrivere in virtù del moto della terra intorno al sole, esse sono tanto più piccole quanto più la stella è lontana da noi, poichè l'ellisse risulta dall'intersezione della sfera con un cono la cui base è sempre uguale all'orbita della terra, qualunque sia la distanza alla quale trovasi la stella che occupa il centro di questa base.

Per ben comprendere i risultati ottenuti da Bradley è necessario conoscere per un'epoca qualunque la posizione di una stella sull'ellisse *m p n q* ch'essa sembra descrivere annualmente in virtù dello spostamento della terra; al che facilmente si arriva nel seguente modo. Riferendoci alla figura 244, noi vediamo che quando la terra è in T la stella sembra essere nel punto *e* della sua orbita apparente *e e' e'' e'''*; ma a quest'epoca il sole è veduto dalla terra secondo la retta T S parallela alla E *e* e diretta nel medesimo verso di essa; adunque per avere la posizione della stella a un'epoca qualsiasi sull'ellisse *m p n q* (fig. 245), è d'uopo vedere ove trovasi il sole a quest'epoca sull'eclittica A B C D, e tracciare nel cerchio *e e' e'' e'''* un raggio parallelo al raggio dell'eclittica che passa per questa posizione del sole; congiungendo quindi l'estremità del raggio così ottenuto nel cerchio *e e' e'' e'''* col centro O della sfera celeste, si ottiene una retta che incontra la sfera nel punto dell'ellisse *m p n q* in cui sembra situata la stella. Tracciamo il cerchio di latitudine K S corrispondente alla posizione media della stella, e supponiamo che il sole si trovi al piede S di questo cerchio di latitudine, che è quanto dire che la longitudine del sole sia uguale a quella della stella; troveremo il posto corrispondente della stella sull'ellisse *m p n q* conducendo E *e* parallela ad O S, cercando poi il punto in cui la retta O *e* incontra la superficie della sfera. Ma la retta E *e*

essendo parallela ad O S è tutta situata nel piano del cerchio di latitudine K S; adunque la retta O *e*, che è pure contenuta in questo piano, incontra la sfera nel punto *p*, che è l'estremità dell'asse minore *p q* più vicina all'eclittica. Si vedrà del pari che quando il sole avrà oltrepassato il piede S del cerchio di latitudine della stella, e se ne sarà allontanato di 90°, la stella apparirà situata nello spazio all'estremità *e'* del raggio E *e'* perpendicolare ad E *e*; in guisa che questa stella, riferita col pensiero sulla superficie della sfera celeste, apparirà in *n* ad una delle estremità dell'asse maggiore dell'elisse *m p n q*.

Sarà così facile l'esaminare in quali successive posizioni debba sembrare la stella sull'ellisse *m p n q* nelle diverse epoche d'un anno. Fermandoci soltanto alle quattro posizioni principali che avrà la stella ogni anno su quest'ellisse, possiamo dire ch'essa sarà in *p* all'epoca in cui il sole avrà la medesima longitudine di essa; poi la si vedrà successivamente in *n*, in *q* ed in *m* quando la longitudine del sole sorpasserà la sua di 90°, di 180° e di 270°.

168. Per giungere a riconoscere l'esistenza di questo annuo moto apparente di ciascuna stella, conseguenza necessaria del moto della terra intorno al sole, Bradley osservò le distanze zenitali di certe stelle al loro passaggio al meridiano; e a tale scopo esso fece uso d'un settore zenitale di $7^m{,}32$ di raggio (24 piedi inglesi). Quest'istrumento, che non abbiamo descritto in particolare, non è altro che il circolo murale (85) di cui sarebbesi soppresso una gran parte del lembo graduato per ridurlo alla forma d'un settore circolare: il nome di settore zenitale gli deriva da ciò che serve esclusivamente per osservare gli astri che passano in vicinanza allo zenit. Bradley fece le sue osservazioni vicinissime allo zenit, a fine di evitare gli errori che avrebbero potuto risultare dalle rifrazioni atmosferiche se avesse osservato degli astri situati ad altezze sull'orizzonte molto diverse da 90°.

Avendo Bradley cominciate le sue osservazioni nel 1725, ed avendole continuate con assiduità, non tardò a riconoscere che le stelle di cui esso occupavasi provavano piccoli spostamenti annui; ma questi spostamenti succedevano ben diversamente da quanto abbiamo detto poco fa (167). Esso trovò, per esempio, che la stella γ della costellazione del Dragone (vedi tav. I, pag. 202) nel marzo 1726 era 20″ più al sud che nel dicembre 1725; che dal mese di marzo al successivo settembre essa si era spostata di 39″ verso nord; e infine che nel dicembre 1726 era ritornata al

punto in cui trovavasi nell'anno antecedente. Se lo spostamento di questa stella fosse stata una semplice apparenza dovuta al moto di traslazione della terra intorno al sole, essa avrebbe dovuto trovarsi più al sud nel mese di dicembre e più al nord nel mese di giugno; e nei mesi di marzo e di settembre sarebbesi trovata in una posizione intermedia tra queste due estreme posizioni. Infatti l'ascensione retta della stella essendo presso a poco di 270° (tav. I), ed il polo dell'eclittica trovandosi tra essa e il polo boreale dell'equatore, vedesi che il piede del suo cerchio di latitudine coincide presso a poco col solstizio d'inverno. Doveva dunque al mese di dicembre, quando cioè il sole trovasi in vicinanza a questo solstizio, essere la stella al vertice *p* dell'ellisse *m p n q* (fig. 245) (167); e per la posizione particolare della stella di cui si tratta, questo vertice *p* è il punto dell'ellisse più lontano dal polo nord. Si vede parimente che la stella doveva trovarsi al punto *q* nel mese di giugno, cioè all'epoca del solstizio d'estate; vale a dire essa doveva essere in quest'epoca più vicina al polo nord che in qualunque altr'epoca dell'anno. Le successive variazioni della distanza della stella γ del Dragone dal polo nord, quali vennero osservate da Bradley, avvenivano esattamente nell'ordine medesimo di quelle che potevano essere cagionate dal moto di traslazione della terra; solo che esse erano costantemente in ritardo di tre mesi sopra queste ultime.

169. Egli era perciò impossibile il ritenere gli spostamenti osservati, come il risultato d'un cambiamento di direzione della retta che congiunge la stella colla terra derivante dalle successive differenti posizioni della terra intorno al sole. Dopo avere indagato per qualche tempo quale poteva essere la causa di questo fenomeno, che non poteva spiegarsi col cambiamento di posizione della terra, Bradley pensò che poteva essere un effetto della successiva trasmissione della luce, la cui velocità era stata trovata cinquant'anni prima da Roëmer, come dimostreremo più avanti. L'attento esame dell'influenza che poteva avere la non istantanea trasmissione della luce sulla direzione secondo la quale si vede una stella, lo confermò pienamente in questa idea; e nel 1728 pubblicò una completa spiegazione del fenomeno rivelato dalle sue osservazioni; fenomeno che comunemente si designa sotto il nome di *aberrazione della luce*, o semplicemente d'*aberrazione:* ed ecco in che consiste questa spiegazione.

Quantunque la velocità della luce sia grandissima, giacchè essa percorre in un secondo circa 77 000 leghe da 4 chilometri,

questa velocità non può essere considerata come infinitamente grande rispetto alla velocità della terra nel suo moto intorno al sole. Considerando infatti l'orbita della terra come la periferia di un cerchio di 38 milioni di leghe di raggio, e supponendo che la terra muovasi uniformemente su questa periferia, compiendone il giro in 365 giorni ed un quarto, trovasi facilmente che essa percorre un po' più di 7 leghe e mezza (leghe 7, 6) per secondo; la velocità della luce è dunque soltanto circa 10 000 volte maggiore di quella della terra.

La velocità d'un osservatore trasportato dalla terra nel suo moto intorno al sole deve far sì che esso non attribuisca ai raggi della luce provenienti da una stella quella medesima precisa direzione che se esso si trovasse perfettamente in quiete. Per farlo comprendere con facilità supponiamo che l'osservatore guardi una stella col mezzo d'un cannocchiale munito d'un reticolo. All'istante in cui la terra è in T (fig. 246), essendo la stella nella direzione T E, l'asse ottico del cannocchiale non dev'essere diretto secondo questa retta T E, perchè l'osservatore possa vedere l'imagine della stella nascondersi dietro l'incrociatura dei fili del reticolo; ma è d'uopo che il cannocchiale abbia una

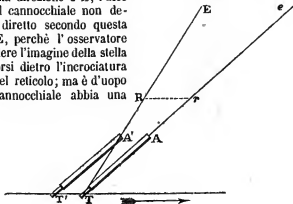



Fig. 246.

certa posizione obbliqua T A, ovvero T′ A′ tale che l'incrociatura dei fili, collocata in T′, percorra la distanza T′ T in virtù del moto della terra, mentre la luce percorre la distanza A′ T: vedesi infatti che la luce che attraversa il centro ottico dell'obbiettivo A′, quando il cannocchiale occupa la posizione T′ A′, arriva in T mentre il cannocchiale ha assunta la posizione T A, e può per conseguenza raggiungere l'incrociatura dei fili che trovasi allora nel punto T.

L'osservatore che considera la direzione dell'asse ottico del suo cannocchiale come fosse quella dei raggi luminosi che pro-

vengono dalla stella, commette dunque un errore; esso crede la stella nella direzione T e mentre è nella direzione T E; ed è in ciò che consiste l'aberrazione della luce. Quest'errore non è per altro inerente soltanto all'uso d'un cannocchiale a reticolo: qualunque sia il mezzo impiegato a determinare la direzione secondo la quale apparisce la stella, ricorrasi ad una diottra a palette, o guardisi semplicemente la stella senza far uso di strumento alcuno, lo stesso ragionamento farà vedere che l'occhio medesimo, per vedere la stella, dovrà dirigersi secondo la retta T e, secondo cui si doveva antecedentemente orientare l'asse ottico del cannocchiale.

Pertanto la velocità di cui l'osservatore è animato, in virtù del moto della terra, fa si che la stella sembra essere situata nella direzione T e diversa dalla direzione T E, nella quale essa trovasi realmente. Per avere la direzione apparente T e è chiaro che basterà prendere sopra T E una lunghezza qualunque T R, condurre pel punto R, parallelamente alla direzione T′ T del moto della terra, una retta R r il cui rapporto a T R sia uguale al rapporto della velocità della terra a quella della luce, e infine congiungere il punto T al punto r così ottenuto: il triangolo T R r sarà simile al triangolo A′ T T′, e per conseguenza la retta T r sarà parallela a T′ A′. L'angolo E T e compreso tra la direzione apparente e la direzione reale della stella, e che dicesi *angolo d'aberrazione*, avrà grandezze diverse secondo la stella che si considererà e secondo il punto dell'orbita in cui sarà la terra. Ma quest'angolo non varierà che per variazioni dell'angolo r R T formato dalla direzione del moto della terra colla direzione reale T E della stella; giacchè la velocità della luce essendo la stessa per tutte le stelle, e quella della terra potendo essere considerata come costante durante l'intiero anno, il che è sufficiente per la quistione che ne occupa, si potranno sempre prendere le medesime lunghezze T R, R r per costruire l'angolo r T R. L'angolo e T E raggiungerà dunque il suo massimo valore quando R r sarà perpendicolare a T r, ovvero, ciò che è press' a poco lo stesso a cagione della piccolezza dell' angolo e T E, quando il moto della terra sarà diretto perpendicolarmente alla direzione reale T E della stella: in questo caso l'angolo di aberrazione e T E è di 20″,45.

170. Vediamo ora come la posizione apparente d'una stella debba cangiare nelle diverse epoche d'un anno, lateralmente alla sua posizione reale, in conseguenza del continuo cambiamento di direzione della velocità della terra. A tale effetto noi rifaremo

ciò che abbiamo già fatto onde studiare l'effetto prodotto dal cambiamento di posizione della terra (167); cercheremo come la stella dovrebbe spostarsi nello spazio perchè un osservatore, immobile al centro del sole, la vedesse successivamente nelle differenti posizioni secondo le quali essa apparisce agli osservatori che sono trasportati dalla terra nel suo moto: di più, per non complicare le cose, supporremo che la velocità della terra determini essa sola un cambiamento nella direzione secondo la quale si vede la stella nelle diverse epoche d'un anno; faremo dunque astrazione dal cambiamento di direzione della stella derivante da ciò che la terra si trasporta successivamente in differenti punti dello spazio; vale a dire considereremo le dimensioni dell'orbita terrestre come nulle relativamente alla distanza alla quale trovasi la stella, e le rette che congiungono questa stella colle differenti posizioni della terra come tutte parallele a quella che la congiunge col sole. Quando la terra è in T (fig. 247) la sua velocità è diretta secondo la T A tangente alla sua orbita, vale a dire secondo una retta presso a poco perpendicolare al raggio T S, giacchè l'orbita della terra molto non differisce da un cerchio di cui il sole occuperebbe il centro. Conduciamo pel punto S una retta S E diretta verso la stella E che consideriamo, e per conseguenza parallela alla retta che congiungerebbe la stella colla terra, giusta quanto ammettiamo; conduciamo quindi per un punto R di questa retta S E, parallelamente alla tangente T A, una retta R r il cui rapporto ad S R sia uguale al rapporto tra la velocità della terra e la velocità della luce; e la stella, da un osservatore collocato sulla terra in T, sarà veduta parallelamente ad S r, come risulta da quanto abbiamo precedentemente spiegato. La stella in luogo d'essere in E dovrebbe dunque trovarsi in e, all'intersezione del prolungamento della

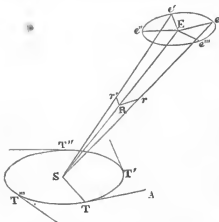



Fig. 247.

retta S r colla retta E e parallela ad R r, perchè l'osservatore, immobile in S, la vedesse esattamente allo stesso modo che la si vede stando sulla terra T. Quando la terra è in T', l'osservatore che vi è situato vede la stella parallelamente a una direzione S r' che si ottiene analogamente; e perchè quest'osservatore, immobile al centro del sole, la vegga allo stesso modo, è d'uopo ammettere che la stella siasi trasportata in e' all'estremità della retta E e' uguale ad E e e parallela alla tangente all'orbita della terra in T'. Egli è perciò facile il vedere che se conduconsi pel punto E le rette E e', E e'', E e''',... tutte uguali ad E e e rispettivamente parallele alle tangenti all'orbita terrestre in T', T'', T''',... la stella dovrà descrivere la curva $e\, e'\, e''\, e'''$ formata dalle estremità di queste rette, perchè un osservatore immobile al centro del sole la vegga costantemente nella direzione secondo cui la vedrebbe se si trovasse sulla terra e partecipasse al suo moto.

La curva $e\, e'\, e''\, e'''$ che la stella deve così sembrare descrivere annualmente, in virtù dell'influenza della velocità della terra, è evidentemente una circonferenza di cerchio il cui piano è parallelo al piano dell'eclittica. Il risultato a cui perveniamo ha dunque una certa analogia con quello che abbiamo ottenuto quando cercavamo il moto apparente della stella prodotto dal cambiamento di posizione della terra nello spazio; in ambedue i casi la stella sembra descrivere una circonferenza di cerchio il cui piano è parallelo al piano dell'eclittica; ma tra i due risultati v'hanno differenze essenziali, quali stiamo per mostrare.

La circonferenza di cerchio che deve sembrare descrivere la stella in virtù del cambiamento di posizione della terra nello spazio ha esattamente le medesime dimensioni dell'orbita della terra, qualunque sia la distanza alla quale trovasi la stella; quella che la stella sembra percorrere, in virtù dell'influenza della velocità della terra sulla direzione apparente dei raggi di luce che ne provengono, ha al contrario dimensioni più o meno grandi secondo che la stella è più o meno lontana; il raggio E e di questo circolo deve sempre corrispondere a un medesimo angolo E S e, qualunque sia la distanza E S della stella dal sole. Si riconosce da ciò che l'effetto del cambiamento di posizione della terra nello spazio dev'essere tanto meno sensibile, per una stella in particolare, quanto più questa stella è lontana; mentre l'effetto prodotto dall'aberrazione della luce dev'essere esattamente lo stesso per tutte le stelle malgrado la grande ineguaglianza che deve esistere nelle distanze che le separano da noi.

Un'altra differenza capitale tra i due effetti che confrontiamo consiste in ciò, che a un istante qualunque la stella non deve occupare posizioni analoghe sulle due circonferenze ch'essa sembra descrivere. Nel caso in cui si considera la circonferenza che la stella percorre in apparenza a cagione del cambiamento di posizione della terra, vedesi ch'essa deve trovarsi in ogni istante all'estremità del raggio E *e*, parallelo alla retta T S che congiunge la terra col sole (fig. 244, pag. 351); nell'altro caso l'influenza della velocità della terra sulla direzione che si attribuisce ai raggi di luce provenienti dalla stella fa apparire questa stella all'estremità del raggio E *e* parallelo alla tangente all'orbita terrestre in T (fig. 247), e per conseguenza perpendicolare al raggio T S di quest'orbita; in guisa che se si confrontano le posizioni successive e corrispondenti della stella sulle circonferenze ch'essa deve sembrare descrivere in virtù di ognuna di queste due cause delle quali studiamo gli effetti, vedesi che sulla seconda circonferenza essa è sempre in ritardo di 90° rispetto alla posizione che occupa nello stesso tempo sulla prima.

Niente ora di più facile che il vedere come una stella deve sembrare spostarsi annualmente sulla sfera celeste in conseguenza della velocità di cui l'osservatore è animato ad ogni istante. Questa velocità produce lo stesso effetto che se, rimanendo immobile l'osservatore, la stella percorresse ogni anno la circonferenza di un cerchio *e e' e'' e'''* (fig. 248) parallelo al piano dell'eclittica A B C D; dunque la stella deve apparire descrivere sulla sfera celeste l'ellisse *m p n q* secondo la quale la sfera taglia il cono O *e e' e'' e'''*. Quest'ellisse ha ancora il suo asse maggiore *m n* parallelo all'eclittica, e il suo asse minore *p q* diretto secondo il cerchio di lati-

Fig. 248.

tudine K S che passa pel suo centro. Il rapporto dell'asse minore all'asse maggiore varia esattamente come nel caso della prima ellisse che abbiamo trovato (167) secondo la posizione che la stella occupa sulla sfera rapporto all'eclittica: questi due assi sarebbero eguali e l'ellisse diventerebbe un cerchio per la stella che fosse situata al polo medesimo dell'eclittica; minore è la latitudine della stella e più schiacciata è l'ellisse; infine l'ellisse si riduce al suo asse maggiore per una stella situata sull'eclittica. Quanto alla grandezza apparente dell'asse maggiore dell'ellisse, essa è la stessa per tutte le stelle. Quest'asse maggiore corrisponde al doppio della maggior deviazione che i raggi derivanti dalla stella debbono in apparenza provare per l'influenza della velocità della terra, giacchè senza questa influenza la stella sarebbe veduta costantemente al centro dell'ellisse di cui si tratta: l'asse maggiore dell'ellisse è dunque veduto sotto un angolo di 40″90, che è il doppio del valore che abbiamo assegnato al massimo angolo formato dalla direzione apparente d'una stella colla sua direzione reale (169).

Che se vuolsi sapere, in ogni epoca dell'anno, quale debba sembrare la posizione della stella sull'ellisse $m\,p\,n\,q$, basta richiamarsi quanto or fa un istante abbiamo detto, cioè che sulla circonferenza $e\,e'\,e''\,e'''$ (fig. 248), ch'essa sembra descrivere nello spazio per effetto dell'influenza della velocità della terra, essa è sempre in ritardo di 90° rispetto alla posizione in cui si trova sull'analoga circonferenza che deve sembrar descrivere in virtù dello spostamento della terra. Trovato il punto della circonferenza $e\,e'\,e''\,e'''$ in cui la stella sembra collocata a un'epoca qualunque, non si avrà che congiungere questo punto col centro O della sfera per avere il punto corrispondente dell'ellisse $m\,p\,n\,q$. Operando in questa maniera si riconoscerà che quando il sole è in S, vale a dire al piede del cerchio di latitudine K S della stella, questa deve apparire collocata al vertice m dell'ellisse $m\,p\,n\,q$; e parimente la stella troverassi apparentemente nei punti p, n, q quando la longitudine del sole sorpasserà quella della stella di 90°, di 180°, di 270°.

171. Riferendoci ora ai risultati delle osservazioni fatte da Bradley sulla stella γ del Dragone si vedrà ch'essi s'accordano pienamente coll'effetto che deve produrre l'influenza della velocità della terra sulla direzione secondo la quale vedesi una stella. Il piede del circolo di latitudine di γ del Dragone coincidendo presso a poco col solstizio d'inverno, questa stella dovea essere al punto m della sua ellisse apparente $m\,p\,n\,q$ all'e-

poca delle osservazioni fatte nel dicembre 1725; doveva essere in p nel mese di marzo 1726, in n nel mese di giugno dello stesso anno, in q nel mese di settembre, e di nuovo in m nel mese di dicembre. Le osservazioni mostrarono infatti che dal dicembre 1725 al marzo 1726 la stella s'era avanzata di 20″ verso sud; che dal mese di marzo 1726 al mese di settembre successivo essa s'era avanzata di 39″ in verso contrario, vale a dire verso nord; e che infine nel dicembre 1726 trovavasi nel medesimo luogo che nel dicembre 1725.

Tutti i movimenti analoghi trovati da Bradley nelle diverse stelle da esso osservate, si accordano perfettamente, al pari di quello preso per esempio, colle conseguenze della esposta teoria, relativamente alla deviazione che la velocità della terra produce in apparenza sui raggi luminosi provenienti da una stella. Constatato quest'accordo, Bradley considerò i movimenti annui da esso riconosciuti nelle diverse stelle sottomesse alle sue osservazioni come effettivamente dovuti a questa deviazione apparente dei raggi luminosi prodotta dalla combinazione della velocità della terra con quella della luce.

Il fenomeno dell'aberrazione così scoperto da Bradley, e confermato da tutte le osservazioni fatte dopo la sua scoperta, deve essere considerato come di grandissima importanza in astronomia. Infatti, oltre che esso ha servito a constatare l'esattezza delle idee emesse da Roëmer sulla successiva trasmissione della luce, ha inoltre somministrato una prova diretta della realtà del moto della terra intorno al sole. Se la terra fosse in quiete, i moti annui delle stelle osservati da Bradley sarebbero affatto inesplicabili, mentre affatto naturale ne è la spiegazione, ammettendo che il moto del sole non sia che un'apparenza dovuta al muoversi la terra intorno quest'astro.

In quanto precede noi non abbiamo parlato che del moto di traslazione della terra intorno al sole, e nulla abbiam detto del moto di rotazione della terra intorno a sè stessa. La velocità di cui è animato un osservatore posto sulla terra è per altro il risultato dell'esistenza simultanea di questi due moti; e si può considerarla come la risultante di due velocità componenti, l'una delle quali dovuta al moto di traslazione della terra, e l'altra dovuta al suo moto di rotazione sopra sè stessa. Ma questa seconda velocità componente è piccolissima rispetto alla prima; all'equatore della terra, ove è maggiore che in qualunque altro luogo, essa non è che 0,015 della velocità colla quale il centro della terra muovesi intorno al sole. Si può dunque non tener

conto della velocità componente dovuta alla rotazione della terra, e considerare l'osservatore come animato semplicemente della velocità che ha il centro della terra; la modificazione che la velocità dovuta alla rotazione della terra arreca al fenomeno dell'aberrazione è troppo debole perchè noi abbiamo a preoccuparcene (*).

172. Nutazione dell'asse della terra. — Scoperta l'aberrazione, Bradley non si arrestò là, ma continuò ad osservare le distanze zenitali delle stelle che passavano in vicinanza al suo zenit, e riconobbe bentosto che l'aberrazione non bastava a spiegare completamente gli spostamenti ch'esse provavano nel cielo.

(*) Abbiamo già veduto (pag. 356) che la terra muovesi sulla sua orbita con una velocità media di leghe 7, 6, ossia di miglia italiane 16, 4 per minuto secondo; per cui in un minuto essa percorre 456 leghe ovvero 985 miglia italiane. Ritenuta poi la periferia dell'equatore terrestre di 10 000 leghe ovvero di 24 600 miglia italiane, e che la rotazione della terra intorno sè stessa si compia in 24 ore, ciascun punto dell'equatore terrestre si muoverebbe, per questa rotazione, colla velocità di 7 leghe, ovvero 15 miglia italiane per minuto. Il rapporto tra questa seconda velocità e la prima è appunto di 0,015.

Nel seguente quadro trovansi esposte le distanze della terra dal sole, e le velocità che ha la terra nella sua orbita di 30 in 30 giorni, corrispondenti alle medesime epoche usate nel quadro del num. 144 (pag. 304).

EPOCHE	DISTANZA della terra dal sole presa la media per unità.	VELOCITA' della terra nella sua orbita presa la media per unità.	SPAZIO PERCORSO in un minuto.	
			Chilometri.	Miglia ital.
31 Dicembre.	0, 983	1,017	1855	1002
30 Gennajo.	0, 985	1,015	1851	999
1 Marzo.	0, 991	1,009	1840	993
31 Marzo.	1, 000	1,000	1825	985
30 Aprile.	1, 008	0,992	1809	977
30 Maggio.	1, 014	0,986	1798	971
29 Giugno.	1, 017	0,983	1794	969
29 Luglio.	1, 015	0,985	1797	970
28 Agosto.	1, 009	0,991	1806	975
27 Settembre.	1. 004	0,999	1821	983
27 Ottobre.	0, 993	1,007	1836	992
26 Novembre.	0, 986	1,014	1849	998
31 Dicembre.	0, 983	1,017	1855	1002

Correggendo ciascuna stella dell'aberrazione, vale a dire riducendole alle posizioni in cui le avrebbe dovute vedere se la direzione dei raggi luminosi che ne provenivano non fosse stata modificata per effetto della velocità della terra, esso trovò che le diverse stelle sottomesse alle sue osservazioni cangiavano ancora alquanto di posizione nel cielo; ma questo cambiamento di posizione non era annuo, come quello che doveva produrre lo spostamento della terra nel suo moto intorno al sole. Vide per esempio la stella γ del Dragone avanzarsi continuamente verso il polo boreale dall'anno 1727 fino all'anno 1736, ed a partire da quest'ultima epoca la stella cominciò a muoversi in verso opposto, vale a dire ad allontanarsi dal polo boreale. Le altre stelle da esso egualmente osservate gli diedero analoghi risultati.

Bradley pensò che questi lenti cambiamenti nella posizione delle stelle rispetto al polo, che tutti concordavano fra loro, do-

Questo secondo quadro offre la velocità di cui sono dotati i punti della superficie della terra, a seconda delle diverse latitudini, dipendentemente dalla sua rotazione diurna.

LATITUDINE	VELOCITA' presa quella all'equatore per unità.	SPAZIO PERCORSO in un minuto.	
		Chilometri.	Miglia ital.
0	1,000	27,9	15,0
5	0,996	27,7	15,0
10	0,985	27,4	14,8
15	0,966	26,9	14,5
20	0,940	26,2	14,1
25	0,906	25,2	13,6
30	0,866	24,1	13.0
35	0,819	22,8	12,3
40	0,766	21,3	11,5
45	0,707	19,7	10,6
50	0,643	17,9	9,7
55	0,574	16,0	8,6
60	0,500	13,9	7,5
65	0,423	11,8	6,4
70	0,342	9,5	5,1
75	0,259	7,2	3,9
80	0,174	4,8	2,6
85	0,087	2,4	1,3
90	0,000	0,0	0,0

vevano derivare da un'oscillazione che provava l'asse della terra da una parte e dall'altra della sua media posizione, o, secondo l'espressione adottata dappoi, da una ***nutazione***. Un simile moto dell'asse della terra doveva infatti ora avvicinare, ora allontanare il polo da certe stelle; e per conseguenza queste stelle dovevano sembrare esse medesime avvicinarsi ed allontanarsi alternativamente dal polo. La semi-oscillazione osservata da Bradley, dal 1727 al 1736, essendosi compiuta nel periodo di 9 anni, suppose egli che la nutazione dell'asse della terra fosse collegata col moto dei ***nodi della luna,*** moto che faremo conoscere più tardi e che si compie in poco più di 18 anni. Comunicò egli le sue idee all'astronomo francese Lemonnier, e lo pregò d'osservare contemporaneamente ad esso la seconda metà del periodo della nutazione che aveva scoperta. Quanto Bradley aveva predetto s'avverò; e nel 1745 esso e Lemonnier non ebbero più alcun dubbio sulla realtà della nutazione ch'egli aveva supposta.

La teoria della gravitazione universale, venendo in ajuto alle osservazioni, fece conoscere la cagione e le leggi della nutazione dell'asse della terra; ed ecco in che consiste questo moto. Abbiamo detto (161) che l'asse della terra T *p* (fig. 241, pag. 341) non si mantiene sempre parallelo a sè stesso, e che si sposta lentamente descrivendo la superficie di un cono di rivoluzione intorno alla perpendicolare T K al piano dell'eclittica; che è quanto costituisce la precessione degli equinozii. Ma in vero così precisamente non accade. L'asse della terra T *p* (fig. 249) muovesi sulla superficie di un piccolo cono a base ellittica T *m n m' n'*, e nello stesso tempo questo piccolo cono si sposta in guisa che il suo asse T *o* descrive la superficie di un cono di rivoluzione intorno alla perpendicolare T K al piano dell'eclittica. Il moto del piccolo cono T *m n m' n'* intorno alla retta T K costituisce la precessione degli equinozii; e il moto dell'asse della terra sulla superficie di questo piccolo cono altro non è che la nutazione di quest'asse. Vedesi infatti che in virtù di quest'ultimo

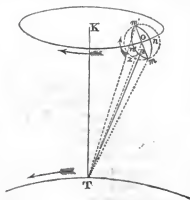



Fig. 249.

moto il polo boreale della sfera celeste si avvicina e si allontana alternativamente dalle stelle che lo circondano.

L'asse maggiore $m\,m'$ dell'ellisse che serve di base al cono della nutazione è diretto nel piano che passa pel suo asse T o e per la perpendicolare T K al piano dell'eclittica, e la sua ampiezza è di 19",3; l'asse minore è di 14",4. Si comprende da ciò che le dimensioni della curva $m\,n\,m'\,n'$ vennero considerabilmente esagerate nella figura 249, poichè l'angolo K T o è di 23° 28', mentre l'angolo m T m' non è che di 19",3. Il polo p compie il giro di quest'ellisse nel periodo di circa 18 anni e $\frac{2}{3}$, e ritorna in m ogni volta che il nodo ascendente della luna trovasi all'equinozio di primavera (vedi più avanti al capitolo della luna). Per sapere ad un'epoca qualunque qual'è la posizione del polo sull'ellisse, è d'uopo imaginare la periferia del cerchio descritta sull'asse maggiore $m\,m'$ come diametro, e supporre che un punto z percorra uniformemente questa periferia nel verso della freccia, in guisa da ritornare sempre in m alle epoche nelle quali il polo p deve trovarvisi; in un istante qualunque il polo p è sempre situato nel punto d'incontro dell'ellisse $m\,n\,m'\,n'$ colla perpendicolare al suo asse maggiore condotta per la posizione che occupa il punto z in questo istante.

È agevole il vedere che, in conseguenza della nutazione dell'asse della terra, il polo boreale della sfera celeste si avvicina e si allontana alternativamente dal polo dell'eclittica; l'obbliquità dell'eclittica prova dunque un cambiamento periodico nella sua grandezza allontanandosi dal suo medio valore ora in meno, ora in più, d'una quantità che ascende fino a 9",65. Parimente l'equinozio di primavera non occupa sempre sull'eclittica quella posizione che avrebbe se il polo p fosse nel punto o in luogo di essere in uno dei punti della piccola ellisse il cui centro è o; ma ora avanza, ora ritarda sul posto che occuperebbe in virtù della sola precessione, oscillando dall'una e dall'altra parte di questa media posizione, e trovandosi così animato d'una velocità variabile nel suo moto retrogrado sull'eclittica.

173. **Parallasse annua delle stelle.** — Malgrado tutte le cure usate da Bradley nelle sue osservazioni, esso non potè giungere a riconoscere l'esistenza del moto annuo delle stelle che costituiva l'oggetto principale delle sue ricerche, vale a dire dello spostamento che debbono apparentemente provare le stelle nel cielo in conseguenza del cambiamento di posizione della terra nelle diverse epoche d'un anno (167). Quando abbiamo voluto spiegarci l'apparente deviazione dei raggi provenienti da

una stella, prodotta per effetto della velocità di traslazione della terra, abbiamo ammesso che la stella fosse tanto lontana che le rette che la congiungevano alle differenti posizioni della terra potevano essere considerate come fra loro parallele (170); ed è in questo modo che abbiamo riconosciuto che in virtù della sola aberrazione ogni stella doveva sembrare descrivere annualmente una certa ellisse sulla sfera celeste. Se la distanza della stella dalla terra non fosse così grande quale l'abbiamo supposta, e per conseguenza le rette che la congiungono alle differenti posizioni che assume la terra nel suo moto intorno al sole fossero notabilmente oblique le une rispetto alle altre, il moto apparente della stella sarebbe più complesso; esso risulterebbe dalla coesistenza di questi due effetti, l'uno dei quali è dovuto all'effetto della velocità della terra sulla direzione dei raggi luminosi, e l'altro è dovuto allo spostamento della terra nello spazio. Ma questi due effetti hanno fra loro una differenza essenziale che abbiamo indicata. Ciò che è dovuto alla velocità della terra è indipendente dalla distanza alla quale trovasi la stella; e l'asse maggiore dell'ellisse che ogni stella sembra descrivere in virtù dell'aberrazione è lo stesso per tutte le stelle. Al contrario l'effetto prodotto dallo spostamento della terra nello spazio dipende interamente dalla distanza che separa la stella dalla terra; e l'asse maggiore dell'ellisse che la stella sembra descrivere sulla sfera in conseguenza di questo spostamento della terra è tanto più piccolo quanto più la stella è lontana. Si comprende adunque che la coesistenza di questi due effetti darà origine a diversissimi risultati, secondo che si tratterà d'una stella più o meno lontana dalla terra; mentre l'ellisse d'aberrazione serberà le stesse dimensioni, l'ellisse dovuta allo spostamento della terra sarà maggiore o minore, ed avrà per conseguenza un'influenza più o meno sensibile sul moto apparente totale della stella.

Non avendo Bradley trovato altro nel moto apparente annuo delle stelle da esso osservate che quanto direttamente risultava dal fenomeno dell'aberrazione, devesi conchiudere che per tutte queste stelle il moto annuo dovuto allo spostamento della terra era troppo debole perchè esso potesse accorgersene. Nè era possibile trarne la conseguenza che la terra non muovevasi intorno al sole, poichè la scoperta dell'aberrazione aveva fornito una prova positiva della realtà di questo moto: tutto quanto potevasi dire si è che le stelle osservate da Bradley erano tanto lontane che le dimensioni dell'orbita della terra erano come nulle rela-

tivamente alla distanza che la separava da queste stelle. Dal non avere trovato Bradley quanto cercava, non era però una ragione che altri non lo trovassero osservando altre stelle.

174. Si comprende quanto interesse doveva inspirare agli astronomi la scoperta e sopra tutto la misura di questo moto annuo delle stelle dovuto allo spostamento della terra, quando si pensi che dalla cognizione di questo moto si poteva immediatamente dedurre quella della distanza di questi astri dalla terra. L'angolo S E T (fig. 250), compreso tra le rette che congiungono una stella E col sole S e colla terra T, altro non è che l'angolo sotto cui, stando in una stella, si vedrebbe il raggio S T dell'orbita terrestre. Facendo astrazione, come in addietro, del cambiamento di grandezza di questo raggiò S T a seconda della posizione della terra nella sua orbita, possiamo dire che il massimo valore dell'angolo S E T corrisponde al caso in cui l'angolo S T E è retto; e questo massimo valore dell'angolo S E T dicesi la *parallasse annua* della stella E. Così la parallasse annua d'una stella è l'angolo sotto cui, stando nella stella, si vedrebbe di prospetto il raggio dell'orbita della terra. Riferendoci a quanto abbiamo detto precedentemente (167), si vedrà che la parallasse annua è precisamente la metà dell'angolo sotteso dall'asse maggiore dell'ellisse che la stella sembra descrivere annualmente in virtù dello spostamento della terra intorno al sole. Da ciò è chiaro che, conosciuto il moto annuo per una stella in particolare, si può immediatamente dedurre la parallasse annua di questa stella, e per conseguenza il rapporto che esiste tra la distanza della stella dal sole e il raggio dell'orbita della terra.

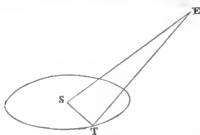



Fig. 250.

Per lungo tempo gli sforzi degli astronomi furono infruttuosi nella determinazione della parallasse annua delle stelle; tutto quanto potevasi dire dall'insieme delle osservazioni intraprese per arrivarvi è che la parallasse annua delle stelle osservate non era maggiore di 1"; e non fu che nel 1838 che la scienza si arricchì d'un primo dato positivo intorno a questo soggetto. Bessel, direttore dell'osservatorio di Königsberg, annunciò a quest'epoca che era giunto a determinare la parallasse annua

di una delle stelle della costellazione del Cigno, quella che porta il n.° 61 (vedi tavola I, pag. 202). Ed ecco qual fu l'andamento da esso tenuto a questo scopo.

175. Abbiamo detto (167) che, in virtù dello spostamento della terra nello spazio, ogni stella deve apparentemente descrivere nel giro d'un anno una certa ellisse sulla sfera celeste; ed abbiamo quindi osservato che questa ellisse deve avere dimensioni più o meno piccole secondo che la stella è più o meno lontana dalla terra. Da ciò risulta che, se una stella trovasi a una distanza da noi notabilmente meno grande che le stelle che vediamo ad essa vicine, il suo moto ellittico annuo avrà maggior estensione che quello di quest'altre stelle; dovrà dunque apparirci alternativamente avvicinarsi ed allontanarsi da esse.

È probabilissimo che le stelle siano assai diversamente lontane dal sole, e avendo le ricerche degli astronomi condotto ad ammettere che la parallasse annua delle stelle le meno lontane era, al più, uguale ad 1″, devesi conchiudere che per la massima parte delle stelle quest'annua parallasse è tanto debole da essere affatto insensibile alle osservazioni; vale a dire lo spostamento della terra nel suo moto intorno al sole non genera alcun cangiamento valutabile nella posizione apparente di queste stelle, le quali per conseguenza possono essere considerate come sottratte intieramente a questo effetto del moto della terra. Se in una regione del cielo esiste una stella tanto vicina a noi che la sua parallasse annua non sia affatto insensibile, e se, nello stesso tempo, le altre stelle della medesima regione, essendo situate molto più lungi della prima, non provano alcun cambiamento di posizione in conseguenza dello spostamento della terra, è chiaro che il moto annuo apparente della prima stella potrà essere determinato paragonandola alle stelle ad essa vicine; e quest'ultime stelle saranno altrettanti punti di confronto che serviranno a constatare e misurare il cambiamento di posizione della stella la cui parallasse non è insensibile.

Fu su queste idee che Bessel si fondò nella ricerca della parallasse annua della 61ª del Cigno. Avendogli il moto proprio di questa stella, moto di cui parleremo più avanti, fatto supporre che doveva essere una delle stelle meno lontane dalla terra, egli cercò di riconoscere se essa si spostava periodicamente alle diverse epoche di ogni anno rapporto alle stelle che la circondano nel cielo. A tale effetto misurò successivamente ed un gran numero di volte le distanze angolari che la separavano da due stelle vicine, e discoste da essa una di circa 8′,

l'altra di quasi 12′. Comprendesi con quanta diligenza tali misure di distanze angolari dovevano essere fatte per giungere a mettere in evidenza un moto annuo che fino allora era sfuggito all'investigazione degli astronomi. Gli ordinarii cannocchiali a reticoli non potevano essere adoperati; un filo d'un reticolo, per quanto fosse fino, avrebbe totalmente coperto la porzione di sfera celeste nella quale si compieva il moto annuo della stella. Bessel ricorse perciò ad un istrumento speciale, all'eliometro, che abbiamo precedentemente descritto (122) parlando della misura del diametro apparente del sole; la figura 200 (pag. 264) rappresenta l'istrumento medesimo col quale esso fece le sue osservazioni. Ed ecco come operò.

Diretto lo strumento verso le due stelle di cui voleva misurare la distanza, e fatto ruotare l'obbiettivo intorno all'asse del cannocchiale in guisa da rendere il piano di separazione delle due semi-lenti parallelo alla retta che univa le due stelle, faceva scorrere la semi-lente mobile lungo questo piano di separazione, per cui le imagini di ciascuna stella venivano a raddoppiarsi: la prima di queste stelle dava origine alle due imagini *a*, *a′* (fig. 251), e la seconda produceva le due imagini *b*, *b′*.

a a′ b b′

Fig. 251.

a b a′ b′

Fig. 252.

Continuando a fare scorrere la semi-lente mobile a lato dell'altra, vedeva le imagini *a′*, *b′* allontanarsi ognor più dalle imagini *a*, *b*; e bentosto l'imagine mobile *a′* della prima stella coincideva coll'imagine fissa *b* della seconda. Esso avrebbe potuto fermarsi a questo punto: la quantità di cui era stata spostata la semi-lente mobile per produrre la coincidenza delle imagini *a′*, *b*, vale a dire per far percorrere all'imagine *a′* la distanza *a b* delle due imagini fisse, avrebbe somministrata la misura di questa distanza *a b*; ma in luogo di ciò Bessel continuava a far muovere la semi-lente mobile finchè le imagini mobili *a′*, *b′* venissero a collocarsi al di là di *a*, *b* (fig. 252), in guisa che le tre distanze *a b*, *b a′*, *a′ b′* risultassero tra loro uguali: egli è chiaro per ciò che la metà mobile dell'obbiettivo aveva dovuto spostarsi del doppio della quantità di cui essa sarebbesi spostata onde produrre soltanto la coincidenza delle due imagini *a′*, *b*, e che lo spostamento totale di questa semi-lente poteva egualmente servire a determinare la distanza *a b* delle due stelle. Bessel giudicava alla semplice vista dell'eguaglianza delle tre distanze *a b*, *b a′*, *a′ b′*, e trovava più esatto di così operare che di stabilire la coincidenza delle due imagini *a′*, *b*.

Le numerose e precisissime osservazioni fatte da Bessel, conformemente a quanto abbiamo detto, gli manifestarono incontrastabilmente l'esistenza del moto annuo e periodico della 61ª del Cigno, dovuto allo spostamento della terra intorno al sole. A certe epoche dell'anno questa stella s'avvicinava continuamente ad una delle due stelle colle quali egli la paragonava, e nello stesso tempo essa si allontanava dall'altra; sei mesi dopo essa muovevasi in verso contrario rispetto a queste stelle di paragone. Discussi i diversi risultati ottenuti dall'osservazione, egli stabilì a 0″,35 la parallasse annua della 61ª del Cigno. Altre osservazioni fatte poscia all'osservatorio di Pulkowa (vicino a Pietroburgo) confermarono pienamente il risultato trovato da Bessel.

176. Dopo la scoperta di Bessel altri astronomi determinarono pure le parallassi annue di alcune stelle; ma non havvi che la parallasse di Vega, o α della Lira, il cui valore sia stato ottenuto con tal grado d'esattezza d'avvicinarsi a quella relativa alla 61ª del Cigno. Secondo le osservazioni dei signori Struve e Peters di Pulkowa, la parallasse di Vega è di 0″,23.

Perchè la grandezza apparente d'una retta veduta di prospetto si riduca a 0″,35 è d'uopo che questa linea trovisi ad una distanza dall'occhio eguale a 595 435 volte la sua lunghezza. Ora la parallasse annua della 61ª del Cigno non è altro che la grandezza apparente del raggio dell'orbita della terra veduto di prospetto da un osservatore che si trovasse nella stella medesima: quindi la distanza di questa stella dal sole è più che 595 mila volte la distanza media del sole dalla terra. È difficile formarsi un'idea alquanto netta di così enorme distanza. Esprimendola in leghe si avrebbe un numero considerevole che nulla rappresenterebbe allo spirito, perchè uscirebbe troppo dai limiti dei numeri che di solito ci occorrono. Il miglior mezzo a cui possiamo ricorrere per apprezzare al suo giusto valore questa grande distanza del sole dalla 61ª del Cigno consiste nel cercare il tempo che la luce impiega a percorrerla. La luce, la cui velocità è di circa 77 000 leghe per secondo, impiega 8′ 18″ a venire dal sole alla terra; fanno d'uopo adunque più di 9 anni perchè percorra la distanza che ci separa dalla stella di cui si tratta.

Dal valore assegnato alla parallasse annua di Vega, la sua distanza dal sole sta alla distanza della 61ª del Cigno nel rapporto di 3 a 2; la luce impiega dunque circa 14 anni a venirci da Vega.

Ora si comprende perchè abbiamo detto (75) che le considerazioni fondate sullo studio del moto diurno delle stelle erano lungi dal poter fornirci un'idea della distanza che ci separa da questi astri. Lo studio attento delle circostanze che presenta il moto diurno in diversi luoghi della terra mostra evidentemente che le dimensioni del globo da noi abitato sono insensibili rispetto alla distanza che esiste tra esso e le stelle; ma gli schiarimenti che ora porgiamo ci fanno vedere che l'orbita della terra, il cui raggio è 24 000 volte più grande di quello del globo medesimo, trovasi press'a poco nello stesso caso; poichè lo spostamento della terra lungo quest'orbita non influisce in modo sensibile sulla posizione apparente della maggior parte delle stelle, e non è che coll'uso di mezzi di straordinaria precisione che si potè riconoscere la debolissima influenza di questo spostamento sopra un piccolissimo numero di esse.

177. Riassunto delle nozioni acquistate sul moto della terra. — Prima di abbandonare l'argomento di cui ci siamo occupati testè non sarà inutile riassumere in poche parole i diversi risultati ai quali siamo giunti relativamente al moto della terra.

Il sole è immobile nello spazio, o almeno lo consideriamo tale finchè altre considerazioni, che svolgeremo più avanti, ci mostrino che probabilmente esso è animato di un moto di traslazione di cui non abbiamo ancora potuto riconoscere l'esistenza mediante i fenomeni finora studiati.

La terra muovesi intorno al sole descrivendo ogni anno una ellisse di cui quest'astro occupa un foco; essa percorre la sua orbita ellittica conformemente alla legge delle aree. Il piano di quest'orbita non conserva una posizione invariabile nello spazio; ma cambia a poco a poco la sua direzione, ciò che produce una progressiva diminuzione dell'obbliquità dell'eclittica. L'asse maggiore dell'ellisse descritta dalla terra cambia pure insensibilmente di direzione, ruotando lentissimamente intorno al sole nel verso medesimo del moto della terra.

Nello stesso tempo che la terra muovesi intorno al sole essa è animata d'un moto di rotazione sopra sè stessa intorno ad un asse inclinato rispetto al piano della sua orbita; quest'asse di rotazione della terra si trasporta serbandosi press'a poco parallelo a sè stesso, in guisa che entro un certo intervallo di tempo può essere considerato come costantemente diretto verso un medesimo punto del cielo. Ma questo parallelismo non si mantiene a tutto rigore; l'asse della terra è animato nello spazio d'un doppio moto, per cui a poco a poco cambia di dire-

zione. Esso in primo luogo possiede un moto medio in virtù del quale ruota intorno alla perpendicolare al piano dell'eclittica, facendo con essa un angolo che rimarrebbe sempre lo stesso se il piano dell'eclittica non cangiasse esso medesimo di direzione nello spazio: in oltre esso oscilla intorno alla media posizione che risulta dal moto precedente considerato da solo, e descrive così la superficie di un piccolo cono ellittico il cui asse di figura è diretto secondo questa posizione media.

Il moto di traslazione della terra intorno al sole è la cagione del moto annuo di cui il sole ci apparisce animato. Esso genera in ogni stella un apparente moto annuo, la cui ampiezza è tanto più piccola quanto più la stella è lontana; e la gran distanza alla quale trovansi le stelle fa sì che per la maggior parte di esse questo moto sia troppo debole per essere sensibile alle osservazioni, per cui non si potè constatarne l'esistenza che in un piccolissimo numero di casi. La velocità di cui la terra è animata nel suo moto intorno al sole ci fa apparire gli astri in una direzione alquanto diversa da quella secondo cui essi trovansi realmente, e genera così il moto apparente delle stelle che abbiamo designato sotto il nome d'aberrazione.

La rotazione della terra sopra sè stessa dà luogo alle apparenze del moto diurno del cielo, e produce in ogni luogo la successione dei giorni e delle notti. Il cambiamento di posizione dell'asse di rotazione rispetto al sole determina le diverse circostanze che costituiscono le stagioni.

MISURA DEL TEMPO MEDIANTE IL MOTO DEL SOLE

178. **Tempo solare**. — Abbiamo già data (126) una prima indicazione dell'uso del moto del sole per misurare il tempo, ed abbiamo detto chiamarsi *giorno solare* il tempo compreso fra due successivi passaggi del sole al meridiano. Questo giorno si divide, come il sidereo, in 24 ore, l'ora si suddivide in 60 minuti e il minuto in 60 secondi; il tempo computato per mezzo del giorno solare e delle sue suddivisioni dicesi *tempo solare*.

Comunemente gli astronomi fanno cominciare il giorno solare all'istante medesimo del passaggio del sole al meridiano, vale a dire a *mezzogiorno*, e lo fanno terminare al successivo passaggio; e contano le ore continuamente dal principio alla fine, vale a dire da 0 a 24. Ma negli usi ordinarii della vita è più comodo il non farlo cominciare a mezzodì, e si parte dal momento che

è equidistante da due mezzodì consecutivi, al quale si dà il nome di *mezzanotte.* Le ore poi contansi da 0 a 12 da mezzanotte a mezzogiorno, poi si ricomincia a contarle da 0 a 12 dal mezzodì alla seguente mezzanotte; e per distinguere le ore relative al primo periodo da quelle del secondo, si designano questi due periodi del giorno coi nomi di *mattina* pel primo e di *sera* pel secondo (*). Il giorno che così comincia a mezzanotte e si compone di due periodi successivi, ciascuno di 12 ore, dicesi *giorno civile,* mentre dicesi per opposto *giorno astronomico* quello di cui fanno uso gli astronomi, vale a dire il giorno che comincia a mezzodì, e le cui ore si contano continuamente da 0 a 24.

Gli orologi regolati sul tempo solare sono comunemente costruiti in guisa che la lancetta delle ore compia il giro della mostra nel periodo di 12 ore; e la mostra è divisa in 12 parti uguali, ciascuna delle quali corrisponde ad un'ora. La lancetta deve coincidere col punto della mostra che serve d'origine alla graduazione ogni volta che il centro del sole passa al meridiano del luogo. Con questo mezzo la lancetta fa ogni giorno un intiero giro da mezzanotte a mezzogiorno, poi un secondo giro dal mezzogiorno alla mezzanotte seguente: segna dunque successivamente le ore del mattino e quelle della sera.

Non sarebbe necessario l'aggiungere che gli orologi regolati sul tempo solare in luoghi diversi non segnano tutti la stessa ora nel medesimo istante. Passando il sole successivamente pei meridiani di questi diversi luoghi, il giorno civile o astronomico non comincia dappertutto nello stesso tempo; e l'essere l'ora solare d'un luogo in avanzo o in ritardo rispetto all'ora solare corrispondente d'un altro luogo dipende dalla differenza di longitudine di questi due luoghi, ed è semplicissimamente collegata con questa differenza di longitudine. Infatti, impiegando il circolo orario del sole 24 ore solari a compiere il giro intiero dell'asse del mondo, deve impiegare un'ora solare a ruotare d'un angolo di 15°, un minuto per ruotare d'un angolo di 15', un secondo per ruotare d'un angolo di 15''. Da ciò sarà facile il vedere quanto tempo impiega il circolo orario del sole a passare dal meridiano d'un luogo al meridiano d'un altro luogo, conoscendo la differenza di longitudine di questi due luoghi; e si avrà con ciò precisamente di quanto avanza o ritarda il tempo

(*) Diconsi anche *antimeridiane* le ore della mattina, e *pomeridiane* quelle della sera.

solare di uno dei due luoghi sull'altro. Così la longitudine di Torino essendo di 1° 29′ 44″ all'ovest del meridiano di Milano, gli orologi regolati sul tempo solare di Torino devono essere in ritardo di 5′ 58″,9 rispetto a quelli di Milano; come pure la longitudine di Venezia essendo di 3° 8′ 58″ all'est del meridiano di Milano, gli orologi di Venezia devono essere avanti di 12′ 35″,9 rispetto a quelli di Milano (*).

Quando abbiamo fatto conoscere il principio della misura delle longitudini geografiche (97), abbiamo fondato questa misura sull'osservazione del tempo sidereo compreso tra i passaggi di una medesima stella pei meridiani dei due luoghi di cui si vuole avere la differenza di longitudine. È chiaro che si può egualmente giungere a questo risultato cercando il tempo solare compreso tra i passaggi del centro del sole per questi due meridiani: ora questo tempo non è altro che la differenza fra le ore simultaneamente segnate da due orologi regolati sui tempi solari dei due luoghi di cui si tratta; non si avrà dunque che a paragonare gli andamenti di questi due orologi ricorrendo ad uno dei mezzi già indicati (97) per trovare la differenza di longitudine che si vuol ottenere.

179. Per regolare un orologio sul tempo solare è d'uopo fare in modo ch'esso segni 0ore 0′ 0″ al preciso istante in cui il centro del sole passa al meridiano del luogo in cui si trova l'orologio. Per ciò si possono impiegare parecchi mezzi, quali stiamo per indicare.

Quando si abbia a propria disposizione un cannocchiale meridiano (80), basta osservare successivamente i passaggi dei due lembi del sole mediante questo cannocchiale, per dedurne con grande esattezza l'istante al quale il centro dell'astro è passato al meridiano del luogo; e se l'orologio che si vuol regolare non segna 0ore 0′ 0″ in questo istante, si saprà di quanto esso avanza o ritarda, e si potrà rimetterlo all'ora esatta. Questo mezzo riunisce in sè il doppio vantaggio d'essere semplicissimo e di somministrare la massima precisione che si possa raggiungere; ma evidentemente non può essere impiegato che in un piccolissimo numero di casi.

Potendòsi con un gnomone (119 e 120) osservare egualmente l'istante del passaggio del sole al meridiano, si può farne uso

(*) Ai confronti fra i tempi corrispondenti di Brest e Strasburgo con quello di Parigi abbiamo stimato meglio sostituire quelli di Torino e Venezia rispetto a Milano.

allo stesso modo di un cannocchiale meridiano per regolare un orologio; ma non è possibile raggiungere una precisione altrettanto grande. Gli orologi solari, che sono veri gnomoni, sono costruiti a questo scopo; ma per una speciale disposizione, che bentosto spiegheremo, non fanno soltanto conoscere l'istante del mezzogiorno, ma indicano in oltre, a un istante qualunque della giornata, l'ora che deve segnare un orologio regolato sul tempo solare, e possono per conseguenza far le veci d'un simile orologio.

In virtù del moto diurno, il sole, dopo il suo nascere, ascende dapprima ognor più sopra l'orizzonte fino a mezzogiorno; poi la sua altezza diminuisce progressivamente fino al suo tramonto. La simmetria che presenta questo moto apparente diurno del sole, rispetto al meridiano del luogo, fa sì che gl'istanti nei quali esso trovasi a una medesima altezza al di sopra dell'orizzonte, prima e dopo mezzogiorno, sono egualmente lontani dal mezzogiorno medesimo. Se dunque si misura l'altezza del sole sopra l'orizzonte ad un istante qualunque prima di mezzogiorno, poi dopo mezzogiorno si aspetta l'altro istante in cui l'altezza del sole ritorni uguale a quella che avevasi trovata dapprima, il confronto delle ore segnate dall'orologio in questi due istanti farà vedere di quanto esso avanza o ritarda sul tempo solare. Il cambiamento della declinazione del sole nell'intervallo fra le due osservazioni, le ineguali rifrazioni che possono provare i raggi solari per l'azione dell'atmosfera a cagione delle variazioni di temperatura e di pressione sono altrettante cause che tendono a rendere inesatto il risultato che così si ottiene. V hanno dei mezzi per evitare tutte queste cause di errore; ma sarebbe uscire dai limiti assegnati a questo lavoro l'allargarci a maggiori particolari su questo argomento, e ci accontenteremo di aver fatto conoscere soltanto il principio del metodo che porta il nome di *metodo delle altezze corrispondenti*.

La misura d'una sola altezza del sole sopra l'orizzonte, eseguita in un istante qualunque della giornata, basta per far conoscere l'ora che deve segnare in questo istante un orologio regolato sul tempo solare, quando si conosca la latitudine geografica del luogo in cui ci troviamo. Siano infatti S (fig. 253) la posizione del centro del sole sulla sfera celeste all'istante che si considera, Z lo zenit del luogo e P il polo: la distanza zenitale P Z del polo è il complemento della latitudine del luogo (96), questa distanza zenitale è adunque conosciuta: in oltre la distanza S P del sole dal polo è somministrata dalla *Connaissance*

des temps (*), che porge il valore del suo complemento S A, o della declinazione del sole per un'epoca qualunque, e per conseguenza per l'epoca particolare nella quale si fa l'osservazione: infine la distanza S Z del sole dallo zenit risulta sia dalla misura che se ne fa direttamente, sia dalla misura dell'altezza S B del sole al di sopra dell'orizzonte, che ne è il complemento. Conosciuti i tre lati del triangolo sferico S P Z, se ne può dedurre, mediante un calcolo trigonometrico, l'angolo Z P S compreso tra il cerchio di declinazione P S del sole e il meridiano P Z. Quest'angolo Z P S è precisamente l'angolo di cui il cerchio di declinazione del sole ha ruotato intorno all'asse del mondo dall'istante in cui il centro dell'astro è passato al meridiano; e conosciuto quest'angolo, se ne deduce immediatamente il tempo traseorso da questo passaggio all'istante in cui fu fatta l'osservazione, vale a dire l'ora che deve segnare in quest'ultimo istante un orologio regolato sul tempo solare; giacchè il cerchio di declinazione del sole impiega 24 ore solari a ruotare di 360°, e per conseguenza occorrono ad esso un'ora solare per descrivere un angolo di 15 gradi, un minuto di tempo solare per descrivere un angolo di 15 minuti, un secondo di tempo solare per descrivere un angolo di 15 secondi. L'angolo Z P S è designato di frequente sotto il nome d'*angolo orario* del sole, e questa espressione resta naturalmente spiegata da quanto precede. Spesso si dà parimente il nome di *piano orario* del sole al piano del suo cerchio di declinazione P S. È chiaro che la distanza zenitale S Z del sole, di cui si fa uso nel calcolo dell'angolo orario S P Z, dev'essere quella che si otterrebbe se l'atmosfera non rifrangesse i raggi luminosi, e se ci trovassimo al centro della terra in luogo d'essere in un punto della sua superficie; debbonsi dunque applicare alla distanza zenitale del sole, quale è data dall'osservazione, le correzioni relative da una parte alla rifrazione atmosferica (58), dall'altra alla parallasse (149).

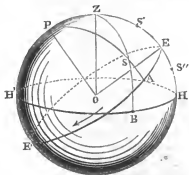



Fig. 253.

(*) Ed anche dalle *Effemeridi di Milano*.

Per poter far uso di quest'ultimo metodo, che suppone conosciuta la latitudine del luogo in cui ci troviamo, basta aver fatta una prima osservazione del sole verso mezzogiorno, onde determinare questa latitudine. A tale effetto si osserva l'altezza del sole sopra l'orizzonte quando si ritiene che l'astro sia poco lontano dal meridiano, e si continua quest'osservazione finchè l'altezza del sole cessa d'aumentare. Il complemento della massima altezza S′ H così ottenuta sarà la distanza zenitale S′ Z del sole all'istante del suo passaggio al meridiano; e se a questa distanza S′ Z s'aggiunge la declinazione S′ E del sole somministrata dalla *Connaissance des temps* per l'istante dell'osservazione, si avrà la distanza Z E dello zenit dall'equatore, quantità che è precisamente la latitudine del luogo (*). Determinata così la latitudine, saremo in grado di regolare il nostro orologio sul tempo solare, conformemente a quanto abbiamo detto, mediante un'altra osservazione del sole fatta dopo che l'astro sarassi opportunamente allontanato dal meridiano (**).

180. Perchè si possa ricorrere agli ultimi due metodi che abbiamo indicati per regolare un orologio sul tempo solare fa d'uopo conoscere la misura dell'altezza del sole sopra l'orizzonte, o, ciò che torna lo stesso, la misura della sua distanza zenitale che ne è il complemento. Questa misura può compiersi sia col mezzo d'un cerchio ripetitore o del teodolite, sia per mezzo di un sestante.

Abbiam veduto come si trova la misura d'una distanza zenitale per mezzo d'un cerchio ripetitore (dal 41 al 44), applicando il principio della ripetizione degli angoli; abbiam pure veduto che il teodolite può servire esattamente alla stessa maniera (46); ma s'incontra una difficoltà quando, in luogo di cercare la distanza zenitale d'un punto che rimane immobile, si vuole determinare quella d'un astro che si sposta continuamente e con bastanto rapi-

(*) Alla distanza zenitale S′ Z del sole nel meridiano, per avere la latitudine del luogo, deve aggiungersi la sua declinazione S′ E quando questa sia boreale: che se la declinazione del sole fosse australe, come nel caso che il sole si trovasse in S″, allora dalla distanza zenitale S″ Z dovrebbe levarsi questa declinazione per avere la medesima latitudine.

(**) L'osservazione dell'altezza del sole fuori del meridiano si può benissimo fare anche prima che il sole medesimo arrivi al meridiano; ma in questo caso l'angolo orario Z P S (fig. 253) è l'angolo di cui il cerchio di declinazione del sole deve ruotare perchè il centro di quest'astro giunga al meridiano; da esso adunque si deduce il tempo che deve trascorrere dall'istante dell'osservazione all'istante di questo passaggio.

dità in virtù del moto diurno. Seguendo il metodo indicato per fare questa misura, devesi osservare l'astro di cui si tratta almeno due volte; e lo si osserva due, quattro, sei, ... volte secondo che si vuole avere un angolo due, quattro, sei, ... volte maggiore della distanza zenitale che si cerca. Essendo l'astro in moto, la sua distanza zenitale ha un valore particolare all'istante di ognuna di queste successive osservazioni, e questo valore cambia da una osservazione all'altra; l'angolo ottenuto alla fine dell'operazione, in luogo d'essere il doppio, il quadruplo, il sestuplo... d'una medesima distanza zenitale è dunque la somma di due, quattro, sei... distanze zenitali differenti. Per intendere che cosa rappresenta il risultato che si ottiene, trattando quest'angolo totale come se fosse realmente il multiplo d'una stessa distanza zenitale, si ammetta che nel tempo della durata dell'operazione la distanza zenitale varii proporzionalmente a questo tempo; e per conseguenza, dopo avere esattamente operato alla stessa maniera come se l'astro fosse immobile, avendo però cura di notare l'ora indicata da un cronometro all'istante di ogni parziale osservazione, si prenda la media dei tempi così ottenuti, e si consideri la distanza zenitale trovata come quella dell'astro all'istante corrispondente a questa media. Nel maggior numero dei casi questo metodo approssimativo è di esattezza sufficiente per determinare l'ora mediante la misura della distanza zenitale del sole, sopra tutto quando si creda potersi accontentare di due osservazioni parziali dell'astro, il che infatti basta quasi sempre; che se si volesse spingere più lungi l'esattezza, sarebbe d'uopo ricorrere a mezzi di calcolo che qui non possiamo indicare. È inutile il dire che per determinare la distanza zenitale del sole mediante un cerchio ripetitore od un teodolite, si deve dirigere la visuale o al punto più alto o al punto più basso del suo disco; e ottenuta la distanza zenitale del punto così osservato, se ne deduce facilmente quella del centro del sole aggiungendone o sottraendone la metà del diametro apparente dell'astro, il cui valore è somministrato dalla *Connaissance des temps* per l'istante dell'osservazione.

Per misurare l'altezza del sole al di sopra dell'orizzonte, servendosi del sestante (48), si può far uso di due metodi. Il primo consiste nell'osservare l'astro direttamente e per riflessione sopra un orizzonte artificiale, per esempio sulla superficie d'una massa di mercurio immobile: misurando l'angolo compreso tra il lembo inferiore del disco del sole e l'imagine di questo lembo prodotta per riflessione dalla superficie del mercurio, trovasi

il doppio dell'altezza del lembo inferiore del sole al di sopra dell'orizzonte; la metà di quest'angolo, aumentata della metà del diametro apparente dell'astro, porge l'altezza del suo centro al di sopra dell'orizzonte. Il secondo mezzo, che non si può usare che quando si è sul mare o in sua vicinanza, consiste nel misurare la distanza del lembo inferiore del disco del sole al limite apparente della superficie del mare, tenendo il sestante in un piano verticale. Se il raggio visuale diretto verso questo limite apparente della superficie del mare fosse orizzontale, si avrebbe l'altezza del lembo del sole sopra l'orizzonte, e quindi l'altezza del suo centro; ma così non succede: essendo questo raggio visuale una tangente A B (fig. 254) alla superficie arrotondata del mare, condotta per l'occhio A dell'osservatore, la sua direzione è necessariamente abbassata di una certa quantità al di sotto dell'orizzonte A H. La distanza angolare S A B del lembo del sole al lembo del mare devesi dunque diminuire dell'angolo B A H per avere l'altezza del lembo del sole sopra l'orizzonte. L'angolo B A H, che dicesi la *depressione dell'orizzonte*, è maggiore o minore secondo il valore che ha l'altezza A C dell'occhio dell'osservatore al di sopra della superficie del mare; e si può facilmente calcolarla per ciascun valore dell'altezza A C, conosciuto che sia il raggio della superficie sferica colla quale la superficie del mare confondesi sensibilmente (*).

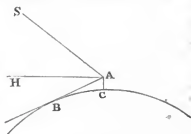



Fig. 254.

181. **Orologi solari.** — Gli orologi solari sono gnomoni destinati a far conoscere ad un istante qualunque della giornata l'ora che deve segnare un orologio regolato sul tempo solare. e possono per conseguenza tener luogo d'un tale orologio. Agli orologi solari si danno forme assai diverse, ma la loro costruzione riposa sempre sullo stesso principio, che ora faremo conoscere.

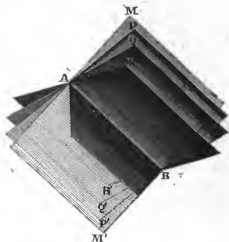
Imaginiamo una retta A B (fig. 255) tracciata nella direzione dell'asse del mondo, il piano verticale M M′ passante per questa retta, che altro non sarà che il piano meridiano, e una serie d'altri piani P P′, Q Q′, R R′ condotti parimente per que-

(*) Invece del limitatissimo estratto della tavola delle depressioni dell'orizzonte qui posta dall'autore, vedi la copiosissima tavola posta nella nota al num. 54, pag. 117.

sta retta A B, tali che l'angolo di M M′ con P P′ sia di 15 gradi, l'angolo di P P′ con Q Q′ sia pure di 15 gradi, l'angolo di Q Q′ con R R′ sia ancora di 15 gradi, e così di seguito. Facendo passare per la retta A B quanti piani si possono, in guisa da soddisfare all'enunciata condizione, se ne condurranno dodici in tutto, ovvero anche ventiquattro semi-piani, regolarmente disposti tutti intorno alla retta A B e tali da dividere in ventiquattro parti uguali i 360 gradi che descriverebbe uno qualunque di questi piani se ruotasse per modo da compiere un intiero giro intorno a questa retta.

Fig. 255.

A cagione della piccola distanza che esiste tra questa retta e l'asse di rotazione della terra, avuto riguardo alla distanza della terra dal sole, si può considerare il moto diurno del sole come che si compia intorno alla retta A B. A mezzogiorno il sole trovasi nel piano meridiano M M′; da mezzogiorno ad un'ora il suo cerchio di declinazione ruota di 15 gradi intorno alla retta A B; questo cerchio di declinazione viene dunque a collocarsi ad un'ora nel piano P P′; da un'ora alle due il cerchio di declinazione del sole ruota ancora di 15 gradi intorno ad A B, per modo che a due ore esso si dispone nel piano Q Q′.

Continuando in questa maniera si vedrà che il centro del sole passa successivamente per ciascuno dei piani M M′, P P′, Q Q′, R R′,... negli istanti ai quali cominciano le diverse ore di cui si compone il giorno solare. L'osservazione del passaggio del centro del sole pel piano meridiano M M′ fa conoscere l'istante in cui ha luogo il mezzogiorno; un'osservazione analoga, fatta per ognuno dei piani P P′, Q Q′, R R′,... farà dunque conoscere del pari gl'istanti corrispondenti ad un'ora, due ore, tre ore, ecc.

Perchè l'osservazione di ognuno di questi passaggi del sole pei diversi piani M M', P P', Q Q', R R', .. possa eseguirsi facilmente basta avere collocato un'asta materiale e bastantemente sottile secondo la direzione A B, ed aver tracciate sulla superficie d'un corpo situato vicino a quest'asta le linee d'intersezione di questa superficie coi piani M M', P P', Q Q', R R',... All'istante in cui il centro del sole passerà, per esempio, pel piano P P', l'ombra dell'asta A B si projetterà evidentemente sulla superficie di cui si tratta, in guisa da coincidere colla linea d'intersezione di questa superficie col piano P P'; le successive coincidenze dell'ombra dell'asta A B colle linee d'intersezione corrispondenti ai diversi piani M M', P P', Q Q',... faranno dunque conoscere gl'istanti ai quali cominciano le diverse ore della giornata.

Vedesi pertanto che un orologio solare non è altro che un gnomone (119), il cui stilo è diretto secondo l'asse del mondo. Più comunemente l'ombra dello stilo ricevesi sulla faccia verticale d'un muro esposto in guisa da essere illuminato dal sole, e su questo muro si tracciano per conseguenza le linee orarie colle quali deve coincidere successivamente quest'ombra; lo stilo è fissato invariabilmente davanti a questo muro nella posizione corrispondentemente alla quale furono determinate le linee orarie (fig. 256). Si può per altro costruire un orologio solare sopra qualunque superficie piana, verticale, orizzontale o inclinata, ed anche sopra una superficie curva di qualsiasi forma e in qualsiasi posizione; e la sola condizione a cui essa deve soddisfare, perchè vi si possa costruire un orologio solare, è ch'essa riceva i raggi del sole durante una parte d'una giornata. Nel caso in cui l'orologio solare sia tracciato sopra una superficie piana, è chiaro che le linee orarie sono tante linee rette tutte partenti dal punto in cui la superficie dell'orologio è incontrata dalla direzione dello stilo.

Fig. 256.

Spesso negli orologi solari di piccole dimensioni allo stilo viene sostituito una lastra metallica terminata con un lembo rettilineo diretto secondo l'asse del mondo (fig. 257); ed in questo caso invece d'osservare l'ombra dell'asta che di solito costituisce lo stilo, osservasi il lembo rettilineo dell'ombra della lastra che venne sostituita a quest'asta.

Si fa pure talvolta negli orologi solari una modificazione che abbiamo già fatto conoscere parlando del gnomone in generale (120). Questa modificazione consiste nel sostituire allo stilo una lamina avente un piccolo foro e collocata per modo che questo foro trovisi situato nella direzione medesima dello stilo a cui la lamina è sostituita. La lamina forata produce un'ombra sulla superficie dell'orologio, e i raggi solari che attraversano il foro di cui è munita illuminano un piccolo spazio nel mezzo di quest'ombra; si osserva l'andamento di questo piccolo spazio illuminato attraverso le linee orarie, alla stessa maniera che si sarebbe osservato l'andamento dell'ombra che avrebbe prodotto lo stilo se non fosse stato soppresso. In questo caso lo stilo è rappresentato dalla retta che s'imagina condotta pel centro del foro della lamina parallelamente all'asse del mondo, e le diverse linee orarie debbono concorrere al punto in cui questa retta incontra la superficie dell'orologio.

Fig. 257.

Nella spiegazione del principio su cui riposa la costruzione d'un orologio solare abbiamo dato soltanto il mezzo per tracciare le linee che corrispondono ai principii delle diverse ore della giornata, vale a dire quelle che chiamansi le linee delle ore; ma non havvi maggior difficoltà nel tracciare le linee delle mezze ore, quelle dei quarti d'ora e quelle che corrispondono a qualunque altra suddivisione dell'ora. Basterà intercalare tra i diversi piani M M′, P P′, Q Q′, ... di cui abbiamo parlato, altri piani che dividano gli angoli di 15 gradi formati dai primi piani, alla stessa maniera con cui si vuol suddividere ciascun'ora; le

intersezioni di questi nuovi piani colla superficie dell'orologio solare,saranno le linee corrispondenti a queste suddivisioni delle ore.

182. Tempo medio. — Abbiamo già detto (126) che la durata del giorno solare non è sempre la stessa. Il giorno solare è più lungo del giorno sidereo a cagione dell' incremento continuo dell'ascensione retta del sole; ma quest' incremento d'ascensione retta ora è più rapido ed ora più lento, per cui varia anche l'eccesso del giorno solare sul giorno sidereo.

Conoscendo ora le leggi del moto del sole, ci è facile renderci conto delle cause di questa ineguaglianza nella velocità colla quale aumenta l'ascensione retta dell'astro, le quali cause determinano in ultimo l'ineguaglianza della durata dei giorni solari. Per una parte sappiamo che, percorrendo il sole la sua orbita ellittica apparente di conformità alla legge delle aree (147), il suo moto angolare intorno alla terra è più o meno rapido secondo che trovasi più o meno vicino ad essa; la velocità del sole sull'eclittica A B C D (fig. 258) è dunque variabile da un'epoca all'altra dell'anno, e comprendesi che questa sola circostanza può dar origine a variazioni corrispondenti nella velocità colla quale l'ascensione retta dell'astro aumenta. D'altra parte l'obbliquità dell'eclittica rispetto all'equatore fa sì che, quand'anche il sole percorresse uniformemente la circonferenza del circolo massimo dell'eclittica, la sua ascensione retta non varierebbe di quantità uguali in tempi uguali. Supponiamo infatti che il sole impieghi lo stesso tempo a percorrere sull'eclittica i due archi uguali A A', B' B, presi l'uno verso l'equinozio di primavera, l'altro verso il solstizio d'estate; la sua ascensione retta s'accrescerà di A M nel primo caso e di N E nel secondo. Ma il triangolo A M A', che è rettangolo in M, potendosi considerare come un triangolo rettilineo a cagione della piccolezza de' suoi lati, vedesi che A A' è maggiore di A M; d'altra parte l'arco B' B, che è sensibilmente parallelo all'equatore, e che misura l'allontanamento dei due circoli di declinazione P N, P E vicini al punto B, è minore dell'arco d'equatore N E compreso

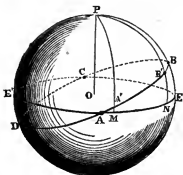



Fig. 258.

tra questi due medesimi circoli: gl'incrementi A M, N E dell'ascensione retta del sole, corrispondenti ai tempi uguali in cui esso descrive gli archi A A', B' B sull'eclittica, sono dunque ineguali.

Così l'eccentricità dell'orbita ellittica del sole, per la quale esso percorre la circonferenza del circolo massimo dell'eclittica con una velocità variabile, e l'obbliquità dell'eclittica sull'equatore sono le due cagioni principali dell'ineguaglianza della durata dei giorni solari. Se cessassero queste due cause, vale a dire se l'eccentricità dell'orbita apparente del sole diventasse nulla, nel qual caso esso percorrerebbe uniformemente l'eclittica, e se in oltre il piano dell'eclittica coincidesse coll'equatore, i giorni solari diverrebbero tutti eguali fra loro, e ciascun d'essi sarebbe maggiore del giorno sidereo della medesima quantità.

183. Essendo la durata del giorno solare variabile da un'epoca a un'altra, non si potrebbe prendere questa durata per unità in una misura precisa del tempo. Però, onde non rinunciare al gran vantaggio che si avrebbe regolando la misura del tempo sul moto apparente del sole, fu scelto per unità il *giorno medio*, vale a dire la media durata del giorno solare (126). Adottata questa unità, se ne può certo far uso per indicare la durata d'un fenomeno qualunque: ma ciò non basta; è d'uopo ancora che il tempo, mano mano che scorre, possa essere considerato come la successione d'una serie di giorni medii, ciascuno dei quali comincia all'istante in cui finisce quello che precede; in guisa che, quando avviene un fenomeno, si possa dire in quale di questi giorni medii successivi lo si osserva e quanto tempo dopo il principio di questo giorno. Quando si misura il tempo prendendo per base il moto diurno della sfera celeste, non dicesi soltanto che si prende il giorno sidereo per unità, ma si imagina inoltre che i giorni siderei succedansi cominciando ciascuno al preciso istante in cui l'equinozio di primavera passa al meridiano del luogo; e regolando la misura del tempo sul moto del sole, non tenendo conto dell'essere i giorni solari ineguali, non solo si dice che si prende per unità di tempo il giorno solare, ma si fissa ancora il principio di ciascun giorno a mezzodì o mezzanotte, secondo che si tratta del giorno astronomico o del giorno civile. Lo stesso deve farsi nella misura del tempo quando si prende per unità il giorno medio, per cui è d'uopo stabilire l'istante dal quale ogni giorno medio deve incominciare. Ecco l'uso a tale scopo seguito di comune accordo dagli astronomi.

Il sole descrive ogni anno la sua orbita ellittica apparente M N (fig. 259) seguendo la legge delle aree; e se ad ogni istante lo si trasporta col pensiero da S in S_1 sulla superficie della sfera celeste, il cui centro è occupato dalla terra T, vedesi ch'esso percorre l'eclittica A B C D con velocità variabile, come già abbiamo detto. È massima la velocità del sole sulla circonferenza di questo circolo massimo quando esso trovasi al suo perigeo M, e per conseguenza quando apparisce nel punto M_1 dell'eclittica; essa diminuisce progressivamente finchè il sole sia giunto nel punto N_1 che corrisponde all'apogeo N; poi aumenta di nuovo da N_1 ad M_1, in guisa da ritornare uguale a ciò che era da prima. Imaginiamo che un sole fittizio *s* percorra l'eclittica di moto uniforme nello stesso verso del sole S_1, per modo da passar sempre pel punto M_1 nello stesso tempo del sole vero S_1; è chiaro che questo sole fittizio passerà pure pel punto N_1 nello stesso tempo del sole vero; giacchè, in virtù della legge delle aree (147), il sole S impiega, a percorrere la semi-ellisse M S N, precisamente la metà del tempo che esso mette a percorrere l'intiero giro della sua orbita: esso dunque sarà giunto in N, e per conseguenza apparirà in N_1 sulla sfera celeste, all'istante in cui il sole fittizio *s* avrà percorso la metà M_1 A N_1 dell'eclittica. Ma il sole vero S e il sole fittizio *s* non sono in coincidenza sulla sfera celeste che in questi due punti M_1, N_1. Infatti all'istante in cui i due soli passano insieme pel punto M_1, il sole vero è animato della sua maggiore velocità, e per conseguenza esso si muove più velocemente del sole fittizio, il quale non è animato che della velocità media del sole vero; quest'ultimo dunque precorrerà al sole fittizio, e il suo precedere aumenterà ognor più finchè la velocità del sole vero, anche diminuendo progressivamente, rimarrà maggiore di quella del sole fittizio. Divenuta la velocità del sole vero uguale a quella del sole fittizio, essi cammineranno rimanendo per alcuni istanti alla medesima distanza l'uno dall'altro; ma diminuendo continuamente la velocità del sole, il sole fittizio gli si avvicinerà ognor più, e

Fig. 259.

finirà col raggiungerlo all'istante in cui arriverà al punto N_1. A partire da questo punto, tutto accade in modo analogo ma inversamente. Avendo il sole fittizio in N_1 una velocità maggiore di quella del sole vero, questo rimarrà in addietro, e la loro distanza aumenterà continuamente finchè la velocità del sole vero non sarà ritornata uguale a quella del sole fittizio; e stabilitasi questa uguaglianza, i due soli si muoveranno per alcuni istanti senza cambiare la loro distanza: in appresso il sole vero, la cui velocità aumenta sempre, riguadagnerà a poco a poco di spazio, e avvicinandosi progressivamente al sole fittizio, lo raggiungerà all'istante in cui arriva al punto M_1. Così il sole fittizio è continuamente in ritardo rispetto al sole vero per tutto il tempo che questo impiega a passare dal perigeo all'apogeo, ed avanza per contrario continuamente rispetto al sole vero dall'apogeo fino al perigeo.

Ciò posto imaginiamo ancora che un secondo sole fittizio S_m (fig. 260) muovasi uniformemente sull'equatore E E' colla velocità di cui il primo sole fittizio s è animato sull'eclittica A B C D, e che questo secondo sole fittizio parta dall'equinozio A all'istante medesimo in cui vi passa il primo. Ad ogni istante questi due soli fittizii s, S_m si troveranno in tali posizioni che gli archi descritti A s, A S_m saranno uguali; questi due soli adunque, essendo partiti insieme dall'equinozio di primavera A, passeranno insieme all'equinozio d'autunno C, e ritorneranno ancora insieme all'equinozio di primavera. Il secondo sole fittizio S_m co' suoi successivi passaggi al meridiano determina la successione dei giorni medii; per cui comunemente si designa questo secondo sole fittizio col nome di *sole medio*.

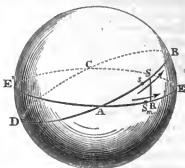



Fig. 260.

È facile il vedere che i giorni determinati dai successivi ritorni del sole medio al meridiano sono tutti fra loro uguali, giacchè le due cause che abbiamo indicato dell'ineguaglianza dei giorni solari (182), sono scomparse nel moto di questo sole medio: esso in luogo di percorrere l'eclittica percorre l'equatore, e muovesi uniformemente sulla periferia di questo cerchio.

In oltre la durata del giorno così ottenuta è esattamente uguale alla media durata d'un gran numero di giorni veri; giacchè, considerando un intervallo di tempo qualunque, tale da comprendere un numero intiero di rivoluzioni apparenti del sole sulla sua orbita ellittica, il sole medio ed il sole vero avranno fatto in questo tempo lo stesso numero di volte il giro della sfera celeste, l'uno sull'equatore, l'altro sull'eclittica: essi adunque saranno passati lo stesso numero di volte pel meridiano del luogo, ciò che indica chiaramente che il tempo compreso tra due ritorni successivi del sole medio al meridiano è il valore medio del tempo analogo, ma variabile, corrispondente al sole vero.

Determinato, come abbiamo detto, il moto del sole medio, più non rimane, per compiere la definizione del *tempo medio*, che indicare l'istante dal quale si comincia a contare ciascun giorno medio. Si fa perciò quanto abbiamo già detto riguardo al tempo solare o *tempo vero*. Usano gli astronomi di far cominciare ciascun giorno medio all'istante del passaggio del sole medio al meridiano, vale a dire al *mezzodì medio;* o contano le ore da 0 a 24, da un mezzodì al seguente mezzodì; il tempo medio prende allora il nome di *tempo medio astronomico*. Per gli usi ordinarii della vita si divide l'intervallo di tempo compreso tra due mezzodì consecutivi in due periodi, ciascuno di dodici ore; e si fa cominciare il giorno all'istante che separa il primo periodo dal secondo, vale a dire a *mezzanotte media*: in questo caso il tempo medio dicesi *tempo medio civile*.

184. Il tempo medio, civile o astronomico, trovasi compiutamente definito da quanto abbiamo detto: il sole medio è un punto ideale il cui moto è esattamente determinato, e i cui ritorni successivi al meridiano d'un luogo fissano il principio di ogni giorno medio, precisamente come farebbe un astro animato d'un moto identico a quello di questo punto. Per vedere come si possa regolare un orologio sul tempo medio, si rifletta che, quando trattasi del tempo vero, si fa in guisa che l'orologio segni $0^{ore}\ 0'\ 0''$ all'istante preciso in cui il centro del sole passa pel meridiano del luogo; ma così non si può fare pel tempo medio, giacchè il sole medio è un punto che non ha esistenza reale nel cielo, e non si può per conseguenza osservarne il passaggio al meridiano. È d'uopo pertanto ricorrere a un altro metodo, mediante il quale si possa far senza dell'osservazione diretta del sole medio, la quale è impossibile ad eseguirsi. Ed ecco come si procede.

Il cerchio di declinazione S R del sole (fig. 260) incontra l'equatore celeste in un punto R, che non è mai molto lontano

dalla posizione corrispondente del sole medio S_m, ma che generalmente non coincide con questo sole medio. L'intervallo di tempo compreso tra i passaggi del sole vero e del sole medio al meridiano d'un luogo non è altro che il tempo impiegato dall'arco $S_m R$ dell'equatore a passare per questo meridiano; per modo che, conoscendo la grandezza dell'arco $S_m R$, si saprebbe immediatamente di quanto il passaggio del sole medio al meridiano precede o segue il passaggio del sole vero. Ora si può calcolare anticipatamente per un'epoca qualunque il valore dell'arco $S_m R$, vale a dire la differenza che a quest'epoca deve esistere tra l'ascensione retta del sole vero e quella del sole medio; giacchè da una parte si conoscono esattamente le leggi del moto del sole sulla sfera celeste, e d'altra parte si può pure determinare facilmente, col mezzo di quanto sopra fu detto, la posizione del sole medio a un'epoca qualunque. Basta dunque costruire una tavola che dia i valori di quest'arco $S_m R$ per tutti i giorni d'un anno, per esempio, perchè ogni giorno si possa sapere a qual istante il sole medio passa pel meridiano osservando il passaggio del sole vero; si può anche per maggior comodo porre in questa tavola, non già le lunghezze dell'arco $S_m R$, ma i tempi che ogni giorno impiega quest'arco a passare pel meridiano.

Dicesi *equazione del tempo* questo tempo che l'arco $S_m R$ impiega a passare pel meridiano, vale a dire l'intervallo di tempo compreso tra i passaggi del sole medio e del sole vero. L'equazione del tempo è evidentemente la differenza delle ore che debbono segnare ad un medesimo istante due orologi regolati l'uno sul tempo medio, l'altro sul tempo vero. Le *Effemeridi astronomiche* (*) contengono ogni anno una tavola dei valori dell'equazione del tempo per tutti i giorni dell'anno, e la si riproduce nei calendarii dei principali annuarii, servendo a regolare gli orologi sul tempo medio: eccone un estratto che darà un'idea della maniera colla quale varia l'anticipazione o il ritardo del tempo medio sul tempo vero.

(*) Le principali effemeridi astronomiche che attualmente si pubblicano ogni anno sono quelle di Milano, quelle di Berlino (*Astronomisches Jahrbuch*), quelle di Parigi (*Connaissance des temps*), e quelle di Greenwich (*Nautical Almanach*). Da questo punto in avanti alle citazioni della *Connaissance des temps*, unicamente fatte dall'autore, sostituiremo la generica citazione delle *Effemeridi astronomiche*, quando però si riferiscano a cosa che in tutte venga più o meno ampiamente pubblicata.

DATE	TEMPO MEDIO a mezzodì vero.			DATE	TEMPO MEDIO a mezzodì vero.		
1 gennajo. . .	0^ore^	3′	58″	1 luglio. . . .	0^ore^	3′	27″
11 id.	0	8	21	11 id.	0	5	8
21 id.	0	11	43	21 id.	0	6	3
1 febbrajo. . .	0	13	57	1 agosto. . .	0	6	0
11 id.	0	14	34	11 id.	0	4	56
21 id.	0	13	54	21 id.	0	2	54
1 marzo. . . .	0	12	34	1 settembre. .	11	59	49
11 id.	0	10	12	11 id.	11	56	30
21 id.	0	7	19	21 id.	11	52	59
1 aprile. . . .	0	3	55	1 ottobre. . .	11	49	37
11 id.	0	1	2	11 id.	11	46	45
21 id.	11	58	38	21 id.	11	44	41
1 maggio. . .	11	56	56	1 novembre. .	11	43	42
11 id.	11	56	9	11 id.	11	44	12
21 id.	11	56	18	21 id.	11	46	5
1 giugno. . .	11	57	29	1 dicembre. .	11	49	18
11 id.	11	59	16	11 id.	11	53	34
21 id.	0	1	23	21 id.	11	58	25

Vedesi che la seconda colonna di questa tavola fa conoscere il *tempo medio a mezzodì vero,* vale a dire l'ora che deve segnare un orologio regolato sul tempo medio all'istante in cui il centro del sole passa pel meridiano del luogo.

L'equazione del tempo è nulla quattro volte all'anno, cioè il 15 aprile, il 15 giugno, il 31 agosto e il 25 dicembre. Dal 25 dicembre al 15 aprile il tempo medio anticipa sul tempo vero; dal 15 aprile al 15 giugno esso ritarda sul tempo vero; dal 15 giugno al 31 agosto anticipa di nuovo; e infine dal 31 agosto al 25 dicembre ritarda ancora. La maggior differenza tra il tempo medio e il tempo vero nel primo di questi quattro periodi ha luogo l'11 febbrajo, e si eleva a 14′ 34″; nel secondo periodo è soltanto di 3′ 54″, e corrisponde al 14 maggio; nel terzo periodo ascende a 6′ 10″, il 26 luglio; e finalmente nel quarto periodo ammonta a 16′ 18″, il 2 novembre.

Confrontando i valori dell'equazione del tempo per due giorni consecutivi trovasi facilmente la differenza che esiste tra la durata del giorno vero e quella del giorno medio, la quale varia da un'epoca all'altra. Al 16 settembre il giorno vero è il più breve, il giorno medio lo sorpassa di 21″; il giorno vero più lungo corrisponde al 25 dicembre, esso sorpassa il giorno medio di 30″.

Le diverse circostanze che abbiamo indicate nel valore dell'equazione del tempo nelle diverse epoche d'un anno si modificano a poco a poco col tempo. Il moto del perigeo solare. rispetto agli equinozii (165), è la causa principale di queste modificazioni; ma vi ha la sua parte anche la diminuzione dell' obbliquità dell' eclittica (164). Dall' esame di tal quistione si riconosce che, in conseguenza al cambiamento di direzione dell'asse dell'ellisse solare rispetto alla linea degli equinozii, potrebbe accadere, per esempio, che l'equazione del tempo riuscisse nulla soltanto due volte all'anno. Ma la gran lentezza colla quale succedono queste modificazioni dell'equazione del tempo fa sì che si possano considerare i risultati che abbiamo indicati come valevoli per un numero bastantemente grande di anni.

185. Finchè gli orologi pubblici non presentavano grandissima regolarità nel loro andamento, non si provò il bisogno di far loro segnare il tempo medio di preferenza al tempo vero: quando si riconosceva una differenza tra l'ora segnata dall'orologio e l'ora vera indicata, per esempio, da un orologio solare, si facevano scorrere le lancette in modo da togliere questa differenza, che proveniva tanto dall'imperfezione dell'orologio che dall'ineguaglianza dei giorni; e quindi, in capo ad alcuni giorni, conveniva ripetere la medesima operazione. Ma dacchè gli orologi furono bastantemente perfezionati da avere un andamento regolare per un lungo tempo, si riconobbe il vantaggio che si avrebbe nel non obbligarli a seguire tutte le irregolarità del tempo vero e far loro segnare il tempo medio. Infatti una volta disposto il pendolo d'un buon orologio in guisa da fare il conveniente numero d'oscillazioni nella durata d'un giorno medio, e fatto che l'orologio indichi l'ora esatta, esso continua d'accordo col tempo medio per un tempo abbastanza lungo, e non v'ha più bisogno di toccarlo fuorchè a lunghi intervalli; mentre se si volesse fargli segnare il tempo vero converrebbe o variare ad ogni giorno la lunghezza del pendolo, per metterla in relazione colla durata variabile del giorno vero, oppure dare al pendolo la lunghezza corrispondente al giorno medio, e correggere ogni giorno o ad ogni due giorni la differenza tra l'ora segnata dall'orologio e l'ora vera.

È pur vero esservi un inconveniente nel sostituire il giorno medio al tempo vero per regolare i lavori della giornata, giacchè l'ora del mezzogiorno invece di giungere esattamente al mezzo della giornata, vale a dire ad uguale distanza dal nascere e dal

tramontare del sole, talora in quella vece anticipa, talora ritarda rispetto a questo istante medio; ma l'anticipazione o il ritardo del mezzogiorno medio sul mezzogiorno vero, non raggiungendo giammai 17', è tanto debole che l'inconveniente che abbiamo indicato non ha una grande importanza, ed è ben lungi dal compensare i vantaggi che presenta la preferenza del tempo medio sul tempo vero.

A Parigi gli orologi pubblici segnano il tempo medio fino dall'anno 1816; e l'esempio di Parigi venne dappoi seguito in molte città della Francia. La grande facilità delle comunicazioni per mezzo delle strade ferrate, e la tanto rapida trasmissione delle notizie per mezzo dei telegrafi elettrici, sono due cagioni che faranno dovunque rinunciare a regolare gli orologi sul tempo vero, giacchè solo coll'adottare il tempo medio potranno gli orologi delle diverse città, se non essere perfettamente tra essi d'accordo, almeno non presentare che differenze costanti dovute alle differenze di longitudine (178) (*).

186. Gli orologi solari segnano per loro natura necessariamente il tempo vero, e volendosene servire per registrare un orologio che debba indicare il tempo medio è d'uopo ricorrere alla tavola dell'equazione del tempo (184); giacchè facendo questa conoscere per ogni giorno dell'anno la quantità di cui il tempo medio anticipa o ritarda sul tempo vero, ed indicando l'orologio solare l'ora vera per un istante qualunque, se ne dedurrà immediatamente l'ora che l'orologio deve segnare a quest'istante.

Si giunse per altro a dare agli orologi solari tali disposizioni per le quali essi forniscono direttamente indicazioni relative al tempo medio; ed ecco in che consistono queste disposizioni.

Imaginiamo che un orologio solare sia costruito non già sulla faccia d'un muro fisso, ma sulla superficie d'un corpo mobile, quale per esempio una lastra di ghisa; imaginiamo inoltre che questo corpo, su cui l'orologio è tracciato ed in cui è fisso invariabilmente lo stilo, sia disposto in guisa da poter ruotare d'una certa quantità intorno ad un asse parallelo all'asse del mondo. Conservando costantemente l'orologio nella posizione in cui lo si è supposto essere nell'eseguirne la costruzione, vale a dire nel determinare le direzioni delle sue linee orarie, egli è evi-

(*) La sostituzione del giorno medio civile al giorno vero è pure una fra le importanti innovazioni che tuttora si desiderano a Milano.

dente ch'esso funzionerà come un orologio solare fisso, e che per conseguenza segnerà il tempo vero. Ma se lo si fa ruotare intorno all'asse di cui abbiamo parlato per ridurlo in un'altra posizione, nella quale poi lo si manterrà invariabilmente, vedesi che le sue indicazioni non saranno più le medesime di prima, esso cioè non segnerà più il tempo vero. Supponiamo, per esempio, che si abbia fatto ruotare l'orologio d'un angolo d'un grado a seconda della rotazione diurna della sfera celeste; il suo stilo, che era parallelo all'asse del mondo, rimarrà pure parallelo a questa linea, poichè l'asse di rotazione è pure diretto secondo la medesima linea; i piani condotti per lo stilo e per le diverse linee orarie avranno dunque tutti cambiata la loro direzione, esattamente alla stessa maniera come se si fosse fatto ruotare ciascuno d'un angolo d'un grado intorno allo stilo medesimo. Quando l'ombra dello stilo si projetta sulla linea oraria di mezzogiorno, il piano orario del sole (179) più non coincide col meridiano, ma con un piano che, rispetto a questo meridiano, è inclinato d'un angolo di un grado; il piano orario dell'astro ha dunque ruotato d'un grado dopo la sua coincidenza col meridiano, e per conseguenza fa mezzodì e quattro minuti. Parimente quando l'ombra dello stilo coincide colle linee orarie di 1ora, 2ore, 3ore,... sono 1ora 4', 2ore 4', 3ore 4',..., vale a dire, in seguito allo spostamento fatto subire all'orologio solare, le ore da esso indicate sono tutte in ritardo di 4 minuti sul tempo vero. Ed è del pari evidente che facendo ruotare così l'orologio solare d'un angolo maggiore o minore nell'uno o nell'altro verso, per poi dopo conservarlo immobile nella posizione che gli si sarà fatta prendere, le sue indicazioni manifesteranno quel ritardo o quell'anticipazione che si vorranno sul tempo vero. Basta quindi far ruotare ogni giorno l'orologio intorno all'asse che lo sostiene d'una quantità qual'è indicata dal valore dell'equazione del tempo, perchè le ore ch'esso indicherà anticipino o ritardino sul tempo vero quanto il tempo medio, vale a dire perchè esse indichino precisamente il tempo medio. Tale è il principio degli orologi solari a tempo medio imaginati dal signor de Sauley. Senza entrare nei particolari del meccanismo mediante il quale l'orologio può essere facilmente condotto ogni giorno nell'opportuna posizione, basterà dire che una lancetta può ruotare intorno al centro d'un cerchio diviso in 365 parti uguali, e che condotta la lancetta successivamente a riferirsi ad ognuna di queste divisioni, le quali corrispondono ai diversi giorni dell'anno, trae seco una curva eccentrica, la quale fa inclinare più o meno l'oro-

logio solare sulla sua posizione normale; la curva eccentrica, la cui forma venne determinata secondo i valori successivi dell'equazione del tempo alle diverse epoche dell'anno, conduce così ogni giorno l'orologio solare nella conveniente posizione.

Un'altra disposizione, d'uso più antico e più diffusa che la precedente, consiste nel tracciare sopra un orologio solare fisso, a disco forato, una linea curva destinata a far conoscere, in ogni giorno, l'istante del mezzodì medio; questa linea curva,

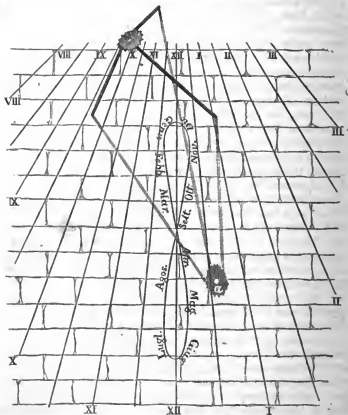



Fig. 261.

che dicesi la *meridiana del tempo medio,* ha la forma d'un 8 allungato, come si vede nella figura 261. Per renderci conto del

modo con cui questa curva è costruita, imaginiamo che in ogni giorno dell'anno siasi osservato, a mezzodì medio, la posizione che occupa sull'orologio il piccolo spazio illuminato *a* corrispondente al foro del disco; e che siasi fatto un segno visibile sull'orologio in ognuno dei punti così ottenuti. Questi diversi punti sono disposti gli uni ad oriente gli altri ad occidente della linea oraria di mezzodì, secondo che il mezzodì medio ritarda o anticipa sul mezzodì vero; d'altra parte essi trovansi necessariamente ad ineguali altezze sull'orologio, in conseguenza del cambiamento che prova continuamente l'altezza meridiana del sole al di sopra dell'orizzonte da un giorno al successivo: la meridiana del tempo medio risulta dall'insieme dei punti così ottenuti. Dalla stessa maniera colla quale questa curva venne definita risulta chiaro che in ogni giorno, all'istante del mezzodì medio, il piccolo spazio illuminato *a* deve trovarsi sulla curva, per modo che, osservando il momento in cui questo spazio illuminato passa per essa, si avrà il mezzodì medio colla stessa facilità colla quale si ottiene il mezzodì vero osservando l'istante in cui passa per la linea oraria di mezzodì. S'incontra per altro la difficoltà che, per la forma stessa della meridiana del tempo medio, il piccolo spazio illuminato *a* passa necessariamente per essa due volte in ogni giorno; è d'uopo adunque che si possa distinguere tra i due istanti che così si ottengono quello che corrisponde realmente al mezzodì medio. A tale effetto s'aggiungono alle diverse parti della meridiana del tempo medio delle indicazioni che fanno conoscere in qual porzione dell'anno ognuna d'esse debba servire. Scrivonsi per esempio lungo questa linea i nomi dei differenti mesi (fig. 261); ovvero anche la si divide in quattro parti, che corrispondono alle quattro stagioni, e loro si applicano colori differenti, pei quali vengano richiamate le stagioni a cui si riferiscono: segnasi, per esempio, in verde la parte che corrisponde alla primavera, in rosso quella che corrisponde all'estate, in giallo quella che corrisponde all'autunno, ed in nero quella che corrisponde all'inverno. Con questo mezzo non vi può essere ambiguità; osservasi l'istante in cui il segno luminoso passante pel foro del disco incontra la porzione della meridiana del tempo medio che conviene all'epoca che corre dell'anno, e si ha così l'istante preciso del mezzodì medio.

187. Anni tropico e sidereo. — Sarebbe incomodo il far uso esclusivamente del giorno come unità per esprimere tutte le durate. Trattandosi di durate un po' grandi, esse verrebbero rappresentate con numeri considerevoli di giorni; e la grandezza

di questi numeri sarebbe ostacolo a formarsene un'idea molto netta. Gli è perciò che ci serviamo di un'altra unità di tempo più grande del giorno, alla quale si dà il nome di *anno*. Basta d'altra parte conoscere il rapporto che esiste tra le durate dell'anno e del giorno perchè l'uso di questa nuova unità ritorni all'uso della prima.

L'anno venne determinato dal moto apparente del sole sulla sfera celeste, come il giorno medio venne dedotto dalla considerazione della rotazione diurna del sole intorno all'asse del mondo; e si prese per anno il tempo che impiega il sole a compiere l'intiero giro dell'eclittica (129). Ma v' hanno due maniere diverse di determinare questo tempo. Supponiamo che a una cert'epoca si osservi l'istante in cui il centro del sole passa all'equinozio di primavera (140); poi che di nuovo osservisi il passaggio di questo centro allo stesso equinozio dopo che l'astro avrà fatto l'intiero giro del cielo; l'intervallo di tempo compreso tra queste due successive coincidenze del centro del sole coll'equinozio di primavera costituisce ciò che dicesi *anno tropico*. Se invece si determina il tempo che il sole impiega a fare il giro del cielo rispetto alle stelle, vale a dire il tempo compreso tra due coincidenze successive del centro del sole con una medesima stella situata sull'eclittica, si ottiene ciò che dicesi l'*anno sidereo*.

L'anno tropico e l'anno sidereo avrebbero esattamente la medesima durata se l'equinozio di primavera conservasse costantemente la medesima posizione rispetto alle stelle. Ma ciò non ha luogo: l'equinozio si sposta tra le stelle in virtù dei moti di precessione (162) e di nutazione (172). Il moto di precessione lo fa retrogradare uniformemente attraverso alle costellazioni; la nutazione modifica questo moto retrogrado accelerandolo e ritardandolo periodicamente senza per altro cangiarne la direzione. Questa continua retrogradazione dell'equinozio fa sì che il sole, dopo esservi passato, vi ritorna più presto che non vi ritornerebbe se l'equinozio fosse immobile fra le stelle; e ne risulta che l'anno tropico è più breve dell'anno sidereo. Di più la periodica variazione che prova la velocità dell'equinozio in virtù della nutazione fa che la differenza fra l'anno sidoreo e l'anno tropico talora è più grande, talora più piccolo; e la durata dell'anno tropico varia entro certi limiti che sono per altro assai poco differenti fra loro.

Mediante il confronto dei risultati ottenuti dall'osservazione del sole ad epoche lontane le une dalle altre si potè determi-

nare la durata dell'anno sidereo con grande esattezza, e si trovò per tal modo che questa durata è di giorni 365, 2563835. Quanto all'anno tropico il suo medio valore, vale a dire il valore ch'esso avrebbe se l'equinozio non retrogradasse che in virtù della precessione, è di giorni 365, 242 264. L'intervallo di tempo compreso tra due successivi ritorni del sole all'equinozio di primavera è realmente ora un po' più grande, ora un po' più piccolo di quest'ultimo numero, secondo la posizione occupata dal polo della sfera celeste sull'ellisse di nutazione (172).

188. **Calendario; sue riforme.** — Per far conoscere l'epoca in cui succede un fatto qualunque si porge la *data* di questo fatto. La data altro non è che l'indicazione del tempo trascorso da un'epoca notevole, o *era*, fino alla produzione del fatto di cui si tratta. Ma per la ragione che sòpra abbiamo data (187) il valore di questo tempo non si esprime per mezzo di un numero di giorni e una frazione di giorno; l'anno è impiegato come unità principale, e il giorno e le frazioni di giorno non ne sono che suddivisioni. Gli è perciò che s'imagina che gli anni succedansi senza interruzione a partire dall'era adottata per modo da formare una serie indefinita, e che a ciascuno di questi anni si attribuisce un numero progressivo, destinato a distinguerlo da tutti gli altri. Si ha poi la data d'un fatto indicando: 1.° il numero dell'anno in cui avviene; 2.° il posto occupato in quest'anno dal giorno cui si riferisce; 3.° infine l'ora precisa del suo avvenimento.

Gli anni dei quali si fa uso in questo modo per esprimere le date debbono necessariamente comporsi d'un numero esatto di giorni, perchè non accada che un medesimo giorno appartenga insieme nel suo principio ad un anno ed all'anno seguente al suo fine; il far altrimenti riescirebbe incomodissimo. Adunque nè l'anno tropico nè l'anno sidereo, ciascuno dei quali si compone di 365 giorni e circa un quarto di giorno, possono essere impiegati a quest'uso: si adotta perciò un anno convenzionale, a cui si dà il nome di *anno civile*. Quest'anno si compone di 12 *mesi*, ciascuno dei quali contiene un numero esatto di giorni; e in ogni mese i giorni portano numeri progressivi.

Facile per altro è il comprendere quanto importante dev'essere il mettere d'accordo l'anno civile col periodo delle variazioni della declinazione del sole, il qual periodo è pur quello della successione delle stagioni. Senza di ciò le stagioni, che hanno tanta influenza sui lavori dell'uomo, giungerebbero negli anni successivi a date che non si corrisponderebbero; la primavera, per

esempio, comincerebbe talora nei primi mesi, talora verso la metà dell'anno, talora negli ultimi mesi. Ora l'anno tropico rappresenta precisamente la durata di questo periodo di stagioni, poichè esso è l'intervallo di tempo compreso tra i principii di due primavere consecutive. L'anno civile adunque dev'essere messo in corrispondenza coll'anno tropico e non coll'anno sidereo; e devesi fare per modo che in un qualunque intervallo di tempo grande quanto si voglia vi siano altrettanti anni civili ed anni tropici. È impossibile che, volendosi soddisfare a questa condizione, gli anni civili compongansi tutti d'un egual numero di giorni; debbono essi al contrario essere ineguali e succedersi per modo che il loro medio valore, in un lungo intervallo di tempo, sia precisamente uguale alla durata dell'anno tropico.

Sopra queste idee venne basato il calendario di cui attualmente si fa uso nella maggior parte d'Europa. Ora vedremo quali riforme gli si fecero progressivamente subire per ridurlo allo stato in cui è attualmente.

189. A Roma, l'anno istituito da Numa, e regolato sul moto della luna, comprendeva soltanto 355 giorni; esso era diviso in 12 mesi, le cui durate erano ineguali, come lo indica il seguente quadro.

NOME dei mesi.	NUMERO dei giorni.	NOME dei mesi.	NUMERO dei giorni.
Gennajo.	29	Luglio.	31
Febbrajo.	28	Agosto.	29
Marzo.	31	Settembre.	29
Aprile.	29	Ottobre.	31
Maggio.	31	Novembre.	29
Giugno.	29	Dicembre.	29

I nomi attribuiti ai differenti mesi in questo quadro sono quelli che loro si dà attualmente; sono anche i medesimi dei quali facevasi uso a Roma, tranne *luglio* ed *agosto* che furono sostituiti ai nomi di *quintile* e *sestile*, il primo in onore di Giulio Cesare, il secondo in onore di Augusto. In ogni mese i giorni non erano designati come lo sono attualmente con numeri crescenti regolarmente dal principio sino alla fine: chiamavasi *calende* il primo giorno di ciascun mese, *none* il quinto o il settimo giorno, *ide* il tredicesimo o il quindicesimo giorno, e tutti gli altri

giorni si designavano con numeri che indicavano di quanto essi precedevano il più vicino di questi tre giorni particolari.

Non si tardò a riconoscere l'inconveniente derivante da ciò che la durata dell'anno civile non corrispondeva al periodo del ritorno delle stagioni; e fu deciso che ad ogni due anni si intercalerebbe un nuovo mese tra il vigesimoterzo e il vigesimoquarto giorno di febbrajo, onde ricondurre il principio di ogni stagione ad una data della stessa denominazione. Questo mese intercalare era dapprima composto di 22 giorni, ed in appresso si lasciò ai pontefici la cura di dargli la conveniente lunghezza, in ragione dello scopo che si trattava di raggiungere. Ma i pontefici abusarono del potere loro così accordato, e nelle loro mani il calendario romano cadde nel più gran disordine; ciò che indusse Giulio Cesare a recarvi una tal riforma che non potessero più riprodursi i medesimi abusi.

Fece egli venire d'Alessandria l'astronomo Sosigene, e si concertò con esso per lo stabilimento d'una regola uniforme destinata a determinare per l'avvenire il numero di giorni di cui si comporrebbe ogni anno civile. Fu deciso che si darebbe all'anno civile un valore medio di giorni 365, 25, valore che Sosigene sapeva essere press' a poco quello dell'anno tropico; e siccome l'anno civile doveva contenere un numero esatto di giorni, così si convenne che sopra quattro anni consecutivi ve ne sarebbero dapprima tre di 365 giorni ciascuno, e il quarto sarebbe di 366 giorni. Per conservare i dodici mesi dell'anno di Numa, Giulio Cesare aggiunse due giorni ai mesi di gennajo, agosto, dicembre, e un sol giorno ai mesi d'aprile, giugno, settembre, novembre; nulla cangiò al mese di febbrajo, ch'era per altro il più breve di tutti, per non turbare il culto degli dei infernali, ai quali questo mese era consacrato. Da ciò i mesi trovaronsi composti come segue:

NOME dei mesi.	NUMERO dei giorni.	NOME dei mesi.	NUMERO dei giorni.
Gennajo.	31	Luglio.	31
Febbrajo.	28	Agosto.	31
Marzo.	31	Settembre.	30
Aprile.	30	Ottobre.	31
Maggio.	31	Novembre.	30
Giugno.	30	Dicembre.	31

L'insieme di questi dodici mesi forma un totale di 365 giorni, cioè la durata che comunemente doveva avere l'anno civile. Ad ogni quattro anni l'anno doveva avere un giorno di più; Giulio Cesare decise che questo giorno complementario sarebbe aggiunto al mese di febbrajo e intercalato tra il vigesimoterzo e il vigesimoquarto giorno di questo mese; ma, per nulla cangiare alle denominazioni degli altri giorni del mese, siccome il vigesimoquarto giorno di febbrajo si chiamava *sexto-calendas*, si diede al giorno intercalare il nome di *bis-sexto-calendas;* ed è dal nome del giorno aggiunto al mese di febbrajo che deriva il nome d'*anno bisestile* per ogni anno composto di 366 giorni.

La riforma così introdotta da Giulio Cesare nella maniera di determinare le durate degli anni civili successivi, è ordinariamente designata sotto il nome di *riforma giuliana;* e il calendario basato sulle regole da esso stabilite dicesi *calendario giuliano.* Il primo anno in cui si fece uso di questo calendario fu l'anno 44 prima di Gesù Cristo. Il principio di questo anno fu fissato da Giulio Cesare a un'epoca tale che le principali feste arrivassero nelle stagioni cui esse dovevano corrispondere; e ne risultò che l'anno precedente, 45 prima di Gesù Cristo, si compose di 445 giorni, per cui ebbe il nome di *anno della confusione.*

190. Il calendario giuliano fu seguito senz'alcuna modificazione per un gran numero d'anni. Per altro il valore medio attribuito all'anno civile essendo alquanto diverso dell'anno tropico, finì col risultarne un notevole cambiamento nelle date alle quali giungevano ogni anno i principii delle stagioni; per modo che, se non vi si fosse rimediato, una medesima stagione sarebbesi poco a poco spostata nell'anno in guisa da cominciare successivamente nei differenti mesi.

Il concilio di Nicea, che tennesi nell'anno 325 dell'era cristiana, adottò una regola fissa per determinare in ogni anno l'epoca della festa di Pasqua; questa regola è basata su ciò che credevasi che l'equinozio di primavera arriverebbe ad ogni anno il 21 marzo, come ciò aveva avuto luogo l'anno medesimo del concilio; il che sarebbe stato veramente se il medio valore dell'anno civile del calendario giuliano fosse stato esattamente uguale all'anno tropico. Ma mentre il primo è di giorni 365, 25, il secondo si compone di giorni 365, 242 264; l'anno tropico è dunque minore dell'anno giuliano di giorni 0, 007 736, o di 11′ 8″. Da ciò risulta che, trascorso un periodo di quattro anni giuliani, l'equinozio di primavera invece di arrivare a una data della

medesima denominazione, e precisamente alla stessa ora dei quattro anni antecedenti, arriva in realtà tre quarti d'ora prima (giorni 0,050 944 o 44' 34"); dopo un nuovo periodo di quattro anni quest'equinozio anticipa ancora di tre quarti d'ora, e così di seguito; in guisa che in capo ad un certo numero di anni, a partire dall'anno 325, l'equinozio dovette arrivare il 20 marzo, più tardi il 19 marzo, poi il 18, ecc. Questo continuo anticipare della data dell'equinozio di primavera, già indicato dagli astronomi, determinò papa Gregorio XIII ad apportare una novella riforma al calendario.

La *riforma gregoriana* fu operata nel 1582. Nel periodo di 1257 anni, trascorsi dall'epoca del concilio di Nicea, l'eccesso dell'anno giuliano sull'anno tropico, accumulandosi d'anno in anno, aveva fatto anticipare la data dell'equinozio di 1257 volte giorni 0,007 736, ovvero di giorni 9,724; nel 1582 l'equinozio cadde infatti l'11 marzo in luogo del 21. Per togliere quest'anticipazione di 10 giorni che l'equinozio aveva provato dall'epoca del concilio di Nicea, e ricondurlo alla data primitiva del 21 marzo, papa Gregorio XIII decise che il domani del 4 ottobre 1582 nominerebbesi non già 5 ottobre ma 15 ottobre. Questo cambiamento di data non bastava per togliere l'inconveniente che derivava dall'uso del calendario giuliano; era d'uopo modificare anche la regola che serviva a determinare le lunghezze dei successivi anni civili, onde evitare per l'avvenire che si riproducesse questa successiva anticipazione della data dell'equinozio. Pertanto il papa deliberò che nel periodo di 400 anni consecutivi non vi sarebbero che 97 anni bisestili in luogo dei 100 che avrebbero dovuto esservi secondo il calendario giuliano. Con ciò si toglievano 3 giorni su 400 anni, e per conseguenza il medio valore dell'anno civile trovavasi diminuito di giorni 0,0075: questo medio valore dell'anno civile, che nel calendario giuliano era di giorni 365,25, fu dunque ridotto a giorni 365,2425, valore che differisce pochissimo da quello dell'anno tropico. L'anno gregoriano così ottenuto è ancora più grande dell'anno tropico di giorni 0,000 236, per cui la data dell'equinozio di primavera deve tendere ancora ad anticipare poco a poco per cagione di quest'eccesso; ma è facile il vedere che si richiederebbero più di 4000 anni perchè questa data anticipasse d'un giorno; laonde devesi considerare la riforma gregoriana come sufficiente per un grandissimo numero di secoli.

Ecco ora in che consiste la regola colla quale si intercalano i 97 anni bisestili nel periodo di 400 anni. Nel calendario giu-

liano gli anni bisestili erano quelli i cui numeri, contati a partire dall'era cristiana, risultavano esattamente divisibili pel numero 4; gli anni secolari, come 1400, 1500, 1600, erano dunque tutti anni bisestili. Si decise che si continuerebbero a fare di 366 giorni quegli anni i cui numeri fossero divisibili per 4; che, sopra quattro anni secolari consecutivi, ve ne sarebbero tre che farebbero eccezione alla regola; e che sopra questi quattro anni secolari il solo che dovesse rimanere bisestile fosse quello il cui numero si compone di un numero di centinaja esattamente divisibile per 4. Pertanto l'anno 1600 dovette essere bisestile; 1700 e 1800 furono anni comuni; 1900 sarà ugualmente un anno comune; 2000 sarà bisestile, e così di seguito. Con questo mezzo, nel periodo di 400 anni, tre anni che sarebbero bisestili nel calendario giuliano, divengono anni comuni, e in conseguenza non restano più che 97 anni bisestili in luogo di 100.

Il calendario gregoriano fu prontamente adottato in Francia e in Germania; più tardi l'adottò anche l'Inghilterra; ora trovasi in vigore presso tutti i popoli cristiani d'Europa, tranne in Russia, ove si segue ancora il calendario giuliano (*); per cui risulta che le date della Russia non s'accordano colle nostre. Nel 1582 la riforma gregoriana stabilì una differenza di 10 giorni tra le date del calendario giuliano e quelle del nuovo calendario; l'anno secolare 1600 essendo rimasto bisestile nel calendario gregoriano, questa differenza di 10 giorni si mantenne fino alla fine del XVII secolo; l'anno 1700 essendo stato bisestile nel calendario giuliano e comune nel calendario gregoriano, la differenza delle date prese nei due calendarii fu di 11 giorni per tutto il secolo XVIII; finalmente per la stessa ragione la differenza aumentò d'un giorno nel 1800, ed è attualmente di 12 giorni. Il giorno che in Russia chiamasi 5 aprile 1855, nella rimanente

(*) In Roma la riforma cominciò lo stesso giorno prescritto da papa Gregorio XIII, cioè il $\frac{5}{15}$ ottobre 1582; in Francia il $\frac{10}{20}$ dicembre dello stesso anno; in Germania, nei paesi cattolici, nel 1584, in conseguenza delle pressanti sollecitazioni di Rodolfo II; nei paesi protestanti nel 1600 il $\frac{19 \text{ febbrajo}}{1 \text{ marzo}}$. La Danimarca, la Svezia e la Svizzera seguirono l'esempio della Germania; solo in alcuni villaggi della Svizzera s'incontrò resistenza, vinta con ammende e dalla forza armata. La Polonia ricevette la riforma nel 1586, accompagnata per altro da una sedizione a Riga. Finalmente l'Inghilterra si decise ad adottarla nel 1752, il $\frac{3}{14}$ settembre, e la differenza era allora salita ad 11 giorni.

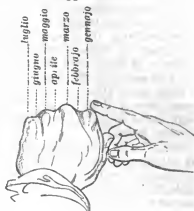
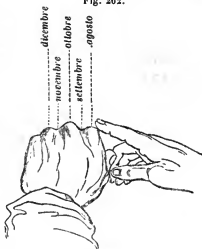
Europa è il 17 aprile; il 25 aprile della Russia corrisponde al nostro 7 maggio. Per evitare qualunque ambiguità, quando si cita una data appartenente al calendario giuliano, si ha cura comunemente di scrivervi al di sotto la data che gli corrisponde nel calendario gregoriano. Così nei due esempii che vennero presi, si dice il $\frac{5}{17}$ aprile 1855, il $\frac{25 \text{ aprile}}{7 \text{ maggio}}$ 1855. Talvolta si fa uso anche dei vocaboli (*vecchio stile*), messi tra parentesi, in seguito alla data giuliana che si cita, perchè non possa confondersi con una data gregoriana.

Fig. 262.

Fig. 263.

191. La divisione dell'anno in 12 mesi introdotta nel calendario da Numa e conservata da Giulio Cesare con alcune modificazioni nella lunghezza dei mesi, non ha cessato d'essere in uso sino a' nostri giorni. Le durate ineguali dei diversi mesi di cui l'anno attualmente si compone sono esattamente quelle medesime adottate da Giulio Cesare, e che sono indicate nel quadro della pag. 399. Alcuni mesi dunque hanno 30 giorni, altri 31; e non havvi eccezione che pel mese di febbrajo, che contiene 28 giorni negli anni comuni, 29 negli anni bisestili.

La poco regolare ripartizione dei mesi di 30 giorni e dei mesi di 31 giorni nel giro d'un anno fa si che talvolta siasi imbaraz-

zati nel sapere di quanti giorni si compone uno o altro mese. Non sarà forse inutile l'indicare il mezzo seguente per risolvere la quistione colla massima facilità. Chiusa la mano sinistra, coll'indice della mano destra si tocchino successivamente le sporgenze e gl'incavi che trovansi all'origine dei quattro diti (fig. 262) (escluso il pollice); e nello stesso tempo si pronuncino i nomi dei differenti mesi nell'ordine secondo il quale succedonsi: così gennajo corrisponde alla prima sporgenza, febbrajo al primo incavo, marzo alla seconda sporgenza, aprile al secondo incavo, e via di seguito: giunti all'ultima sporgenza, che corrisponde al luglio, si comincino a toccare di nuovo le sporgenze e gl'incavi nello stesso ordine, continuando sempre la serie dei mesi (fig. 263), e non si cessi che dopo aver terminato i dodici mesi. Tutti i mesi che così corrispondono alle sporgenze sono di 31 giorni; gli altri, che corrispondono agli incavi, hanno 30 giorni, eccettuato febbrajo che ne ha 28 o 29 secondo il caso.

192. V'ha nei calendarii un'altra divisione del tempo in periodi di sette giorni o settimane, intorno ai quali è pur bene dire qualche parola. La settimana non serve in modo alcuno all'indicazione delle date; essa non ha alcun rapporto semplice sia coll'anno, sia col mese. Questo periodo uniforme si succede senz'alcuna alterazione attraverso i mesi, gli anni, i secoli, qualunque siano le durate che si attribuiscano a queste grandi divisioni del tempo. I sette giorni di ogni settimana hanno ciascuno un nome speciale, in guisa che non solo un qualunque giorno ha una data diversa da quella degli altri giorni, ma è designato in oltre con un nome particolare, che indica il posto ch'esso occupa nella settimana cui appartiene.

L'origine della settimana si perde nella notte dei tempi: ecco come spiegasi la successione dei nomi attribuiti ai giorni di cui si compone. Gli antichi non conoscevano che 7 pianeti, compresivi il sole e la luna (60); essi li disponevano nell'ordine seguente, dalle durate delle loro rivoluzioni, come anche dalle presunte loro distanze dalla terra:

Saturno,
Giove,
Marte,
Sole,
Venere,
Mercurio,
Luna.

Ai 7 giorni della settimana vennero attribuiti i nomi di questi pianeti, ma evidentemente in un ordine assai diverso. Secondo un uso anticamente seguito in Egitto, ogni ora delle ventiquattro della giornata era consacrata ad un pianeta, e davasi a ciascun giorno il nome del pianeta che corrispondeva alla sua prima ora. Prendevansi successivamente i diversi pianeti nell'ordine col quale vennero scritti, e giunti alla Luna, che termina la lista, si ricominciava con Saturno per continuare allo stesso modo. Pertanto il primo giorno doveva prendere il nome di Saturno, e da ciò è derivato il nome di *sabbato;* la 2.ª ora di questo primo giorno era consacrata a Giove, la 3.ª a Marte,... la 7.ª alla Luna, l'8.ª a Saturno, la 9.ª a Giove,... la 14.ª alla Luna,... la 21.ª alla Luna, la 22.ª a Saturno, la 23.ª a Giove, e infine la 24.ª a Marte. La 1.ª ora del giorno seguente era dunque consacrata al Sole; così il domani del sabbato era il giorno del sole; come è indicato dal nome che tuttora porta in alcuni calendarii, quale, per esempio, il calendario inglese (sunday): il nostro vocabolo *domenica*, che gli venne sostituito, deriva da *dominicà dies.* La 2.ª ora della domenica essendo consacrata a Venere, la 3.ª a Mercurio, la 4.ª alla Luna, e così di seguito, vedesi che la 24.ª ora dello stesso giorno lo era a Mercurio; la 1.ª ora del domani della domenica era dunque consacrata alla Luna, donde il nome di *lunedì* attribuito a questo giorno. Continuando alla stessa maniera, si vede che il domani del lunedì dovette assumere il nome di Marte (*martedì*); che il domani del martedì dovette prendere quello di Mercurio (*mercoledì*); che il giorno seguente era il giorno di Giove (*giovedì*); ed infine il domani del giovedì era il giorno di Venere (*venerdì*). La 24.ª ora del venerdì trovandosi consacrata alla Luna, la 1.ª ora del giorno seguente lo era a Saturno; in guisa che il domani del venerdì prendeva di nuovo il nome di sabbato, e così di seguito indefinitamente.

CAPITOLO QUARTO

DELLA LUNA

LEGGI DEL MOTO DELLA LUNA

193. Dopo il sole la luna è l'astro che fra tutti ci offre il maggiore interesse. Non solo essa eccita la nostra curiosità colle tanto svariate forme sotto le quali la veggiamo successivamente; ma ci è anche di grandissima utilità illuminandoci frequentemente durante le notti. Ci occuperemo adunque tosto dello studio in particolare delle leggi del suo moto; e lo studio che abbiamo già fatto delle leggi del moto del sole ci faciliterà molto questo nuovo che stiamo per intraprendere; giacchè molti fra i risultati che otterremo hanno grande analogia con quelli che già conosciamo, per cui potremo presentarli più rapidamente.

194. La luna si sposta fra le stelle. — È facilissimo il riconoscere che la luna non conserva una posizione invariabile sulla sfera celeste rapporto alle stelle; giacchè la luce ch'essa spande nella nostra atmosfera non è tanto intensa da impedirci di distinguere le stelle alquanto brillanti che trovansi in sua vicinanza. Esaminando attentamente alla semplice vista la posizione che occupa la luna rispetto ad alcune stelle visibili, scorgesi che questa posizione cambia sensibilmente nel periodo di alcune ore. La figura 264 mostra di quanto la luna si sposta in 24 ore: in questo intervallo di tempo essa passa dalla posizione 1 alla posizione 2; e se si confronta questa figura colla figura 203, pag. 272, che rappresenta il giornaliero spostamento del sole nella stessa regione del cielo, vedesi che il moto della luna fra le stelle è molto più rapido di quello del sole; e che la luna percorre in un giorno un arco circa tredici volte più grande dell'arco percorso nello stesso tempo dal sole.

Osservando la luna per un numero di giorni bastantemente grande la si vede muoversi attraverso diverse costellazioni, e

percorrere così l'intiero giro della sfera celeste. Segnando di tempo in tempo sopra una carta celeste (tavola II, pag. 202) la posi-

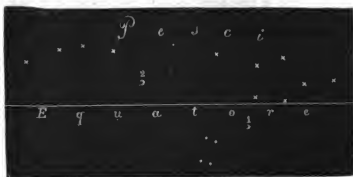



Fig. 264.

zione da essa occupata frammezzo alle stelle vedesi che non si allontana mai molto dal cammino che segue il sole nell'annuo suo moto; per cui muovesi seguendo press'a poco il circolo massimo dell'eclittica, non discostandosi che di piccole quantità ora al nord di questo circolo, ed ora al sud. Questo moto della luna è *diretto* (162), vale a dire succede nel medesimo verso del moto del sole sull'eclittica, e la principale differenza tra questi due moti consiste nella velocità, che è circa tredici volte maggiore per la luna che per il sole.

195. Fasi della luna. — Mentre la luna percorre le diverse costellazioni che esistono lungo l'eclittica, essa ci si presenta sotto forme assai diverse, che diconsi le sue *fasi*. Questi cambiamenti di forma, che si riproducono periodicamente, come tutti sanno, non dipendono dalla posizione che la luna occupa tra le stelle. Quando quest'astro, partito da una posizione in cui lo si è osservato in una certa costellazione, ha fatto l'intiero giro del cielo per ritornare a questo medesimo posto, esso non presenta la fase che aveva presentato dapprima; e quando, dopo un nuovo giro, esso ritorna a collocarsi ancora in quella medesima costellazione, la fase sotto la quale si mostra è diversa da ognuna dello due precedenti. Ma confrontando la posizione della luna nel cielo con quella che nello stesso tempo occupa il sole, vedesi che le fasi della luna dipendono da questa posizione relativa dei due astri; poichè tutte le volte che la luna trovasi a una stessa distanza angolare dal sole, essa ci presenta la mede-

sima fase, qualunque siano del resto le costellazioni frammezzo alle quali questi due astri ci appariscono.

Percorrendo la luna press'a poco lo stesso cammino del sole sulla sfera celeste, ma con maggiore velocità di quella di quest'astro, ne risultano, pel moto relativo dei due astri, delle circostanze particolari, delle quali è facilissimo renderci conto. A certe epoche la luna raggiunge il sole, e passa sia nel medesimo luogo da esso occupato sulla sfera, sia alquanto da lato; ma bentosto lo sorpassa, per la maggiore rapidità del suo moto, e se ne allontana ognor più: continuando così a camminare avanti al sole, finisce col raggiungerlo di nuovo per sorpassarlo ancora, e così di seguito. Le posizioni che assume successivamente la luna rapporto al sole sono esattamente quelle medesime che risulterebbero se il sole rimanesse immobile sulla sfera e la luna fosse in moto sopra di un circolo massimo passante press'a poco pel sole.

Quando la luna passa per la regione del cielo in cui trovasi il sole, non la si scorge affatto; ma in capo a un giorno o due, se si guarda nel cielo poco dopo il tramonto del sole, vedesi la luna dalla parte d'occidente sotto la forma d'una sottilissima striscia falcata (fig. 265), la quale, essendo animata del moto diurno come tutti gli astri, finisce bentosto per disparire sotto l'orizzonte. I giorni seguenti vedesi ugualmente la luna in circostanze analoghe, vale a dire poco dopo il tramonto del sole; ma la si vede ognor meno vicina al punto dell'orizzonte in cui il sole è tramontato, e la sua parte luminosa s'ingrandisce ognor più nel suo mezzo (fig. 266): il tramonto della luna ritarda quindi di giorno in giorno rispetto a quello del sole. Sei o sette giorni dopo che si è cominciato a vedere la luna falcata sotto forma di striscia sottilissima, essa mostrasi sotto la figura d'un semi-circolo (fig. 267); allora essa è già tanto lontana dal sole da non passare al meridiano che circa 6 ore dopo di esso, vale a dire a sei ore di sera. A partire da quel punto la parte luminosa della luna si allarga ancor più, e passa insensibilmente dal semi-circolo al circolo intiero, prendendo forme intermedie, quale è quella rappresentata dalla figura 268. Sette giorni circa dopo che la luna fu veduta sotto la forma d'un semi-circolo, essa diviene affatto circolare (fig. 269); passa allora al meridiano 12 ore più tardi del sole, vale a dire a mezzanotte; sorge quando il sole tramonta, e tramonta quando sorge il sole. Continuando ad osservare la luna, vedesi ch'essa sorge e tramonta sempre più tardi, e che ripassa successivamente per le stesse forme di prima, ma

in ordine inverso; si nota in oltre che la parte più convessa del contorno visibile della luna è oramai rivolta verso oriente, mentre prima lo era dalla parte d'occidente. Così la luna, dopo aver presa la forma d'un intiero circolo, si ristringe progressivamente dalla parte d'occidente (fig. 270), e in capo a sette giorni

Fig. 265. Fig: 266. Fig. 267.

Fig. 268. Fig. 269. Fig. 270.

Fig. 271. Fig. 272. Fig. 273.

essa non ha più che la forma di un semi-circolo (fig. 271); ed allora non passa al meridiano che circa 18 ore dopo il sole, vale a dire verso 6 ore di mattino. Bentosto essa si mostra falcata (fig. 272), e vedesi al mattino poco prima del sorgere del sole e dalla parte d'oriente. Sei o sette giorni dopo che fu veduta sotto la forma d'un semi-circolo essa apparisce falcata come una sottilissima striscia (fig. 273) situata vicino al punto dell'orizzonte ove deve sorgere il sole. A partire da questo punto, per due o tre giorni, la luna non si vede affatto; e trascorso questo tempo, si ricomincia a vederla alla sera, dopo il tramonto del sole, sotto la forma falcata, come abbiamo detto da principio.

Queste successive modificazioni delle forme sotto le quali la luna ci si presenta si riproducono costantemente alla stessa maniera e nel medesimo ordine. D'altra parte non solo di notte si può osservare la luna; ma la si vede facilmente di pieno giorno

tutte le volte che non è troppo vicina al sole; per cui risulta una maggiore facilità di seguire opportunamente questi cambiamenti di forma ed assicurarsi che avvengono affatto conformemente a quanto abbiamo detto.

196. Cerchiamo ora di spiegare la causa per la quale la luna si mostra sotto tanti differenti aspetti.

È naturale il vedere da prima se ciò non dipenda dalla forma particolare di quest' astro, il quale, volgendosi successivamente da differenti lati, ci mostri le diverse parti del suo contorno; ma con una semplicissima osservazione, che si può ripetere assai frequentemente, possiamo assicurarci che le fasi della luna debbono essere spiegate in modo affatto diverso; e quest' osservazione prova che generalmente noi non vediamo che una porzione della faccia della luna che è rivolta dalla nostra parte, e che, se veggiamo questa faccia intiera, la luna ci apparisce costantemente sotto la forma di un circolo: ed ecco in che consiste. Mentre la luna si sposta sulla sfera celeste, accade di tempo in tempo che venga a passare davanti ad una stella togliendola ai nostri sguardi, e dicesi allora che succede un'*occultazione* della stella. Ora è chiaro che in questo fenomeno particolare, dovuto al moto della luna rispetto alla stella, tutto avviene come se la luna fosse immobile e la stella *e* (fig. 274) fosse in moto secondo una certa linea quale *m n*. Se la parte falcata della luna formasse la totalità della faccia di quest' astro che è rivolta dalla nostra parte, la stella rimarrebbe visibile finchè non avesse raggiunto il lembo interno della fase in *a*, e non sarebbe invisibile che per tutto il tempo che impiegherebbe ad attraversare la parte falcata. Ma in luogo di ciò vedesi la stella scomparire assai prima ch'essa non abbia raggiunto il lembo interno della fase, ed all'istante in cui si cessa di ravvisarla, essa trovasi in un punto *b*, che si giudica facilmente essere situato sulla circonferenza del circolo, il cui lembo esteriore fa parte della fase. Deriva pertanto da ciò che generalmente noi non vediamo la totalità della faccia della luna che è rivolta dalla nostra parte, e solo una porzione di questa faccia ci è resa sensibile dalla luce. Quando noi discerniamo una porzione notevole della faccia della luna che è rivolta verso di noi (fig. 266 alla 272), distinguiamo facilmente certe macchie grigiastre, le quali col loro insieme danno grossolanamente alla

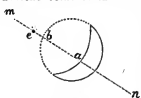



Fig. 274.

luna l'aspetto d'una figura umana; ed è facile l'assicurarsi che queste macchie, delle quali comunemente noi non veggiamo che una parte più o meno grande, ci si presentano sempre alla stessa maniera. La porzione luminosa della faccia della luna che è rivolta verso di noi s'allarga ognor più fino ad abbracciare totalmente queste macchie (fig. 265 alla 269); poi essa si ristringe poco a poco in guisa d'abbandonarle progressivamente (fig. 269 alla 273); ed è impossibile il non riconoscere in ciò tutti i caratteri di un corpo la cui superficie, non luminosa per sè stessa, è successivamente nelle sue diverse parti illuminata da un corpo luminoso vicino. Facendo inoltre attenzione che la parte convessa della fase lunare è sempre rivolta dalla parte del sole, in guisa che la retta che congiunge i suoi due corni è perpendicolare alla retta che congiunge la luna a quest'astro, si vedrà che la luna non è luminosa se non per essere illuminata dal sole.

Le apparenze ci portano a considerare la luna come un corpo sferico. Il sole non può illuminare ad ogni istante che una metà della sua superficie, e la luna ci appare sotto l'una o l'altra fase secondo che veggiamo una porzione più o meno grande di questa metà illuminata. Per ispiegarci compiutamente come avvenga la successione delle fasi, supponiamo che la luna muovasi descrivendo un circolo A B C... intorno alla terra T (fig. 275), e che il sole S sia situato nel piano di questo circolo, a una distanza grandissima dalla terra relativamente al raggio T A; in guisa che i raggi di luce inviati dal sole alla luna in tutte le posizioni A, B, C, D, ..., ch'essa occupa successivamente, possano essere considerate come tra loro parallele. La metà della superficie della luna illuminata dal sole è sempre diretta dalla parte di quest'astro, ed è limitata da un circolo *m n*. Dalla terra T non si può vedere che la metà della superficie della luna, che è limitata dalla circonferenza del cerchio *p q*, diretta perpendicolarmente al raggio che congiunge la luna colla terra; non vedesi dunque in realtà che la parte dell'emisfero illuminato che trovasi compreso in questo emisfero visibile terminato dalla circonferenza *p q*. Egli è per ciò che seguendo la luna nel suo moto intorno alla terra si vedrà che le fasi succedonsi precisamente come è indicato dall'osservazione. Così quando la luna è in A, l'emisfero non illuminato è tutto rivolto verso la terra, e la luna è invisibile; in B vedesi la luna falcata colla convessità rivolta verso il sole (fig. 266); in C vedesi la metà dell'emisfero illuminato, e la luna si mostra allora sotto la forma d'un semi-circolo

(fig. 267); in D essa presenta una forma intermedia tra un semicircolo e un circolo completo (fig. 268); in E vedesi dalla terra

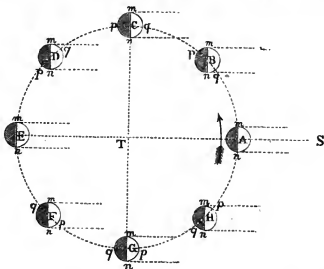



Fig. 275.

la totalità dell'emisfero illuminato, vale a dire la luna apparisce perfettamente circolare (fig. 269): compiendo il suo giro la luna prende successivamente in F, G, H le apparenze indicate colle figure 270, 271, 272.

Vedesi quanto riesce facile lo spiegare le fasi della luna mediante le precedenti considerazioni. Per giungere a questa spiegazione abbiamo supposto che la luna descriva un circolo intorno alla terra, e che la terra trovisi nel piano di questo circolo; ma queste condizioni, che in realtà non sono esattamente soddisfatte, non sono indispensabili alla spiegazione delle fasi. Questi aspetti tanto diversi della luna sono sempre dovuti alle posizioni che prendono successivamente l'una rispetto all'altra le due circonferenze che servono di limite, l'una all'emisfero illuminato della luna, l'altra all'emisfero di quest'astro rivolto verso la terra.

197. Quando la luna è in A sulla direzione della retta che va dal sole alla terra dicesi che è *nuova*, o che ha luogo il *novilunio*, ed allora non la si vede; quando è in E, sul prolungamento della medesima retta, dicesi che è *piena*, o che ha luogo

il *plenilunio*, ed allora si mostra sotto la forma d'un intiero circolo (fig. 269); in C la luna è nel suo *primo quarto;* in G nel suo *ultimo quarto* Le posizioni B, D, F, H, nelle quali trovasi la luna al mezzo degli archi A C, C E, E G, G A, diconsi gli *ottanti.* Spesso al novilunio ed al plenilunio dassi il nome collettivo di *sizigie;* come pure al primo quarto ed all'ultimo quarto quello di *quadrature.*

Usansi assai più spesso le espressioni *novilunio, primo quarto, plenilunio, ultimo quarto* per designare non già le quattro particolari posizioni A, C, E, G della luna rapporto al sole, ma gl'intervalli di tempo che impiega la luna per passare da ciascuna di queste posizioni alla seguente. Così dall'istante del novilunio fino a quello del primo quarto dicesi che è nel novilunio; dall'istante del primo quarto fino all'istante del plenilunio dicesi che è nel primo quarto; e così di seguito.

198. **Luce cinerea.** — L'esattezza delle idee fin qui svolte per ispiegare le fasi della luna è pienamente confermata da un fenomeno che tutti possono osservare colla massima facilità. Quando la luna non presenta ancora che una debolissima falcatura, riguardandola attentamente qualche tempo dopo il tramonto del sole distinguesi facilmente l'intiero suo contorno. La parte della sua superficie che non è direttamente illuminata dal sole, trovasi assai leggermente illuminata (fig. 276); per cui nessuna porzione dell'emisfero rivolto verso la terra rimane invisibile. Questa debole luce è designata sotto il nome di *luce cinerea;* ed a misura che la luna s'allontana dal sole, per cui la sua fase ingrandisce, l'intensità della luce cinerea diminuisce, finchè questa luce scompare intieramente prima che la luna giunga al suo primo quarto. La luce cinerea ricompare qualche tempo dopo l'ultimo quarto, quando la luna riprende la forma falcata; ma allora per discernerla è d'uopo osservare la luna alla mattina poco prima del sorgere del sole. Ecco da che cosa deriva questo notevole fenomeno.

Fig. 276.

La luna manda alla terra la luce ch'essa riceve dal sole, ed è per questa luce ch'essa c'illumina durante la notte; ma la terra deve agire allo stesso modo rispetto alla luna, vale a dire la terra illuminata dal sole deve rimandare alla luna una porzione della luce ch'essa riceve. Per un osservatore che trovisi nella luna, la terra deve presentare delle fasi in tutto simili a quelle che la luna presenta a noi; la terra deve adunque illuminare ugualmente le notti della luna, e illuminarle più o meno secondo la fase nella quale si trova. Se in oltre si osserva, come bentosto vedremo, che la terra ha dimensioni maggiori che non la luna, ne risulterà che la luce inviata dalla terra alla luna dev'essere maggiore di quella inviata dalla luna alla terra in analoghe circostanze. Ora facilmente si riconosce che quando la luna è in A (fig. 275), vale a dire all'epoca in cui è nuova, la terra dev'essere *piena* per un osservatore posto nella luna; come pure, quando la luna è piena, in E, la terra dev'essere *nuova* per quest'osservatore: in una parola la luna e la terra presentano nello stesso tempo fasi direttamente opposte ad osservatori collocati sopra uno o sopra l'altro di questi due corpi. Pertanto l'emisfero della luna non illuminato dal sole riceve la maggior quantità di luce dalla terra all'istante del novilunio; dal novilunio fino al plenilunio la terra illumina ognor meno quella parte della luna che non è rivolta verso il sole; all'epoca del plenilunio la terra non invia nessuna luce alla luna; e finalmente dal plenilunio al novilunio la parte della luna che non è direttamente illuminata dal sole riceve dalla terra una quantità ognora più grande di luce. Comprendesi da ciò che, per un certo tempo, prima e dopo il novilunio, quella parte della luna che non riceve luce proveniente direttamente dal sole può essere tanto intensamente illuminata dalla terra che noi giungiamo a discernerla. Tale è la causa a cui devesi attribuire la luce cinerea; e se si porge attenzione alla grande quantità di luce che la luna piena projetta sulla terra durante le nostre notti, osservando eziandio che la terra, a cagione delle sue maggiori dimensioni, deve ancor più intensamente illuminare la luna in analoghe circostanze, vedrassi che la spiegazione data della luce cinerea nulla ha d'esagerato.

A partire dall'istante in cui si potè cominciare ad osservare la luce cinerea dopo un novilunio, l'intensità di questa luce diminuisce progressivamente e finisce collo scomparire dopo pochi giorni. Ciò deriva da due cause agenti nel medesimo verso. Da una parte la terra, come abbiamo detto, illumina ognor meno

la parte oscura della luna; d'altra parte il progressivo allargamento della fase lunare fa sì che la quantità di luce che ne proviene tende a mascherare ognor più la luce debole e decrescente della parte che non è direttamente illuminata dal sole; e ciò, sia per un semplice effetto di contrasto, sia perchè le regioni dell'atmosfera terrestre attraversate dai raggi provenienti dalla luna trovansi ognor più illuminati.

199. **Forma del disco della luna.** — Essendo molto notevoli le dimensioni apparenti della luna, è necessario, come pel sole, scegliere uno de' suoi punti al quale riferire costantemente le osservazioni destinate a fissare di tempo in tempo la sua posizione sulla sfera celeste. Ma non può farsi opportunamente alcuna scelta se non quando si abbia un' idea netta della forma sotto cui si presenta la luna, o piuttosto della forma che presenterebbe se costantemente se ne vedesse l'intiera faccia che essa volge alla terra.

Le diverse fasi della luna ricevono assai naturale spiegazione supponendo che la luna sia un corpo rotondo o sferoidale, come la terra; e se realmente è così, la luna dovrebbe apparirci sotto forma d'un disco circolare, o press'a poco circolare, nel caso in cui tutta la sua superficie fosse illuminata. Ma noi non possiamo verificare ad un'epoca qualunque se l'intiero disco della luna abbia veramente la forma d'un circolo, poichè di solito non possiamo discernere che una porzione più o meno grande di questo disco, e questa verificazione diventa soltanto possibile in due diverse circostanze: cioè all'istante del plenilunio, e quando la luna non presenta che una sottile falcatura, e tutta la porzione della sua superficie rivolta dalla nostra parte trovasi illuminata dalla luce cinerea. Ricorrendo allora agli stessi mezzi che per il sole (121 e 122), si riconosce che il disco della luna è esattamente circolare; o almeno, se vi hanno delle differenze tra la forma reale di questo disco e un cerchio, esse sono troppo piccole per poter essere verificate dall'osservazione.

Ammesso che il disco intiero della luna sia circolare come quello del sole, è naturale procedere alla stessa maniera tanto pel primo astro come pel secondo, vale a dire riferire al centro del disco tutte le osservazioni destinate a determinare la posizione dell'astro sulla sfera celeste. Si misureranno pertanto ad epoche diverse l'ascensione retta e la declinazione del centro della luna, e dal confronto dei valori che assumeranno successivamente questi due angoli si potrà studiare il cammino della luna nel cielo.

200. Osservazione del centro della luna. — Il centro del disco della luna non è un punto che si possa direttamente osservare come si osserva una stella; è d'uopo adunque ricorrere a un mezzo indiretto per supplire a questa diretta osservazione, e giungere ai risultati che da questa si sarebbero ottenuti. Già vedemmo qualche cosa d'analogo pel sole (**125**): noi abbiamo detto che l'ascension retta del centro dell'astro ottenevasi prendendo la media delle ore dei passaggi del lembo occidentale e del lembo orientale del suo disco pel piano meridiano; come pure che la media dei numeri ottenuti, osservando il lembo superiore ed il lembo inferiore del disco con un circolo murale, somministrava la declinazione del centro.

Basterebbe evidentemente operare per la luna come pel sole, se l'intiero suo disco rimanesse costantemente visibile; ma ciò non è, e nella maggior parte del tempo non vedesi che metà del contorno circolare del disco. Quando la luna passa pel meridiano non si può osservare il passaggio che d'un solo de' suoi due lembi; il lembo orientale è invisibile dall'istante in cui è scomparsa la luce cinerea dopo il novilunio fino all'istante del plenilunio seguente; e il lembo occidentale è invisibile a sua volta dal plenilunio fin quando comincia a ricomparire la luce cinerea. Parimente non si può in generale osservare al circolo murale che il lembo inferiore o il lembo superiore del disco della luna.

È necessario adunque conoscere il diametro apparente della luna per potere dall'osservazione d'un sol lembo del disco concluderne quanto avrebbe somministrato l'osservazione diretta del centro. Questo diametro apparente varia da un'epoca all'altra, come vedremo bentosto; varia pure sensibilmente da un'ora all'altra della medesima giornata: è dunque importante conoscerne il valore all'istante medesimo in cui si fa l'osservazione d'uno dei lembi del disco, e vi si può facilmente arrivare misurandolo all'istante di cui si tratta sia col mezzo d'un micrometro a fili paralleli (**121**), sia col mezzo dell'eliometro (**122**). È vero che ciò sembra supporre che il disco della luna sia totalmente visibile, ma non conta; dacchè si può discernere la luna si vede sempre una metà del suo contorno circolare, e basta misurare l'angolo compreso tra le due estremità di questa semi-circonferenza per avere il diametro apparente della luna.

Per determinare la declinazione del centro della luna, si osserva il lembo inferiore del disco od anche il suo lembo superiore, mediante il circolo murale, e trovasi così la declinazione

di questo lembo; basta pertanto aggiungervi o sottrarvi, secondo il caso, il semi-diametro della luna per ottenerne la declinazione del centro. In modo analogo si opera per determinare l'ascensione retta della luna: si osserva l'ora del passaggio del lembo orientale o del lembo occidentale del disco al meridiano, e vi si aggiunge o vi si leva la metà del tempo che l'intiero disco impiega a passare pel meridiano: questo tempo si calcola dalla grandezza del diametro apparente della luna all'istante dell'osservazione e dal valore della declinazione del suo centro.

201. Parallasse della luna; sua distanza dalla terra. — Dopo esserci reso conto della distanza che ci separa dal sole, abbiamo osservato che l'astro, veduto da un punto della superficie della terra, non doveva apparirci situato nel cielo allo stesso posto in cui ci apparirebbe se ci trovassimo ad osservarlo al centro del nostro globo (149); in guisa che, e per la rotazione della terra sopra sè stessa, e per lo spostamento che ne deriva nel luogo d'osservazione, noi non possiamo considerare le direzioni secondo lè quali l'astro ci apparisce successivamente come partenti da un medesimo punto. Abbiamo allora spiegato come si possano evitare le complicazioni derivanti da questa circostanza, applicando certe correzioni ai risultati direttamente pôrti dall'osservazione, in modo da ridurli a quelli che si sarebbero ottenuti se l'astro fosse stato osservato dal centro medesimo della terra. Possiamo ora ripetere per la luna quanto abbiamo detto pel sole; ma l'effetto di ciò che abbiamo chiamato la parallasse dell'astro è qui molto più sensibile che non pel sole, essendochè la luna è da noi molto meno lontana di quell'astro. L'effetto della parallasse del sole è tanto piccolo, che abbiamo potuto farne dapprima astrazione nello studio delle leggi del moto del sole, senza che ne sia venuto il menomo inconveniente: per la luna al contrario quest'effetto della parallasse è pronunciatissimo; e se non ne tenessimo immediatamente conto, arriveremmo a risultati affatto inesatti.

La parallasse orizzontale della luna (148) si determina nel modo seguente. Supponiamo che due astronomi trovinsi in due luoghi B, C (fig. 277), situati sopra uno stesso meridiano terrestre, e che essi osservino nello stesso tempo la luna L all'istante del suo passaggio pel meridiano di questi due luoghi: ciascuno d'essi potrà determinare in quest'istante la distanza zenitale L B Z o L C Z' del centro della luna, misurando la distanza zenitale del lembo superiore o del lembo inferiore del disco,

ed aggiungendovi o sottraendone la metà del suo diametro apparente. Conosciute le latitudini geografiche dei due luoghi di osservazione B, C, se ne dedurrà immediatamente il valore dell'angolo B O C, che sarà la differenza o la somma di queste due latitudini, secondo che B e C si troveranno sopra uno stesso emisfero della terra, ovvero dall'una e dall'altra parte dell'equatore terrestre. Ciò posto, si costruirà facilmente il quadrilatero BOCL: si traccerà dapprima una circonferenza di cerchio con un raggio O B preso ad arbitrio; si condurranno pel suo centro O due rette O B Z, O C Z' facenti tra esse l'angolo B O C trovato col mezzo delle latitudini dei due luoghi d'osservazione; si faranno in B ed in C gli angoli Z B L, Z' C L uguali alle distanze zenitali ottenute in questi due luoghi; e le rette B L, C L s'incontreranno in L in modo da chiudere il quadrilatero. Costruita questa figura, se ne dedurranno gli angoli B L O, C L O, che sono le parallassi d'altezza della luna per gli osservatori posti in B ed in C; quanto alla parallasse orizzontale dell'astro, si può dedurla da queste parallassi d'altezza, od anche ottenerla direttamente considerando l'angolo che fa la retta O L con una tangente alla circonferenza del cerchio condotta pel punto L. A questa costruzione grafica, sufficiente per chi si accontenti d'una grossolana approssimazione, può per altro venire sostituito un processo di calcolo che conduce agli stessi risultati con molto maggiore esattezza.

Fig. 277.

Tale è il principio della misura della parallasse orizzontale della luna, principio che può essere applicato alla misura della parallasse d'un astro qualunque, ma che porge risultati di una precisione soltanto opportuna per la luna, a cagione della piccolezza della distanza di quest'astro dalla terra, in confronto della distanza degli altri astri. Facendone l'applicazione, si è obbligati a modificarlo alquanto per poter tener conto del non essere mai i due luoghi d'osservazione esattamente sopra uno stesso meridiano terrestre; del non essere i raggi O B, O C della terra corrispondenti a questi due luoghi esattamente diretti secondo le verticali che loro corrispondono; ed infine del non essere i diversi raggi della terra, come O B, O C, tutti uguali fra loro. Noi non entreremo nei particolari delle modificazioni che deb-

bonsi praticare al precedente metodo per le diverse cause indicate, ma ci accontenteremo soltanto di farne sentire la necessità.

202. La parallasse orizzontale della luna dipende insieme dalla distanza del centro della luna dal centro della terra, e dal raggio della terra; e siccome i diversi raggi della terra sono disuguali, così non si può far conoscere il valore della parallasse della luna senza indicare nel medesimo tempo a qual raggio terrestre si riferisce questa parallasse. Ordinariamente la parallasse orizzontale della luna si riferisce al raggio dell'equatore, e chiamasi per questa ragione *parallasse orizzontale equatoriale;* e questa altro non è che la metà del diametro apparente che presenterebbe la terra veduta dalla luna se la superficie della terra fosse una sfera avente per raggio quello dell'equatore terrestre.

Per mezzo di osservazioni fatte contemporaneamente da Lalande a Berlino e da Lacaille al capo di Buona Speranza, nell'anno 1756, si potè determinare la parallasse della luna con grande esattezza; si trovò così che la parallasse orizzontale equatoriale ha un medio valore di 57′ 40″: il suo valore è talora più grande, talora più piccolo di questo medio valore, e varia tra 53′ 53″ e 61′ 27″.

La parallasse orizzontale della luna per un luogo qualunque della superficie della terra, e in un istante determinato, è più o meno grande secondo che il raggio terrestre corrispondente a questo luogo è esso medesimo più o meno grande; e siccome il raggio dell'equatore è il maggiore fra tutti i raggi della terra, così ne risulta che la parallasse orizzontale equatoriale è maggiore della parallasse orizzontale relativa ad un luogo qualunque non situato sull'equatore e corrispondente ad un medesimo istante. Pertanto mentre il medio valore della parallasse orizzontale equatoriale della luna è di 57′ 40″, la sua parallasse orizzontale a Milano è di 57′ 34″, 4, ed al polo di 57′ 28″, 5.

Una parallasse di 57′ 40″ corrisponde ad una distanza dell'astro uguale a press'a poco 60 volte il raggio della terra; l'esatto rapporto della distanza dell'astro al raggio della terra è uguale a 59,617. La distanza della luna dalla terra è dunque, in termine medio, di circa 60 volte maggiore del raggio dell'equatore terrestre; una tale distanza varia tra 56 e 64 volte lo stesso raggio (più esattamente tra 55,947 e 63,802). Dalle dimensioni della terra (109) si deduce facilmente che la media

distanza della luna dalla terra è di 95 000 leghe da quattro chilometri (*).

Vedesi da ciò quanto la luna è meno lontana da noi in confronto del sole: la distanza del sole dalla terra è per medio di 24 000 raggi terrestri (148), mentre quella della luna dalla terra non contiene che 60 di questi raggi; la prima distanza è dunque 400 volte maggiore della seconda.

Abbiamo detto (148) che Aristarco di Samo aveva attribuito alla parallasse del sole un valore di 3′; ed ecco da quali considerazioni vi fu condotto. Esso con ragione osservò che all'istante preciso in cui la luna è nel suo primo quarto, vale a dire in cui il sole illumina esattamente la metà dell'emisfero lunare che è rivolto verso noi, il sole, la luna e la terra debbono formare i vertici d'un triangolo rettangolo S L T (fig. 278),

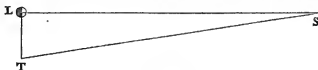



Fig. 278.

il cui angolo retto è in L. Ne risulta che l'angolo in S è il complemento dell'angolo in T, in guisa che basta misurare quest'ultimo angolo per dedurne l'angolo L S T. Ora dall'osservazione trovò che l'angolo S T L era almeno di 87°; adottandone questo valore, conchiuse che l'angolo L S T era di 3°. Così l'angolo sotto cui un osservatore che trovasi nel sole vedrebbe di prospetto il raggio dell'orbita della luna secondo Aristarco sarebbe di 3°; e siccome il raggio della terra è 60 volte

(*) Le diverse distanze della luna dalla terra risulterebbero così espresse:

Media distanza della luna dalla terra,	leghe 94900	o migl. ital.	205000
Minima distan. della luna dalla terra,	» 89000	»	» 192300
Massima distan. della luna dalla terra,	» 101800	»	» 219300

Supposto anche che nella media parallasse della luna si avesse un errore di 4″, essendo questa parallasse di 57′ 40″ ossia di 3460″, l'errore che ne deriverebbe nella media distanza della luna dalla terra sarebbe di $\frac{4}{3460}$ ossia di $\frac{1}{865}$, per cui ascenderebbe a circa 110 leghe; e supposto anche, come già abbiamo fatto pel sole, che si avesse un errore di un chilometro nella misura del raggio terrestre, questo arrecherebbe un errore di 60 chilometri, ossia di 15 leghe nella distanza della luna dalla terra; per cui, se questi due errori esistessero simultaneamente, e i loro effetti cospirassero, si avrebbe nella media distanza della luna dalla terra un massimo errore di 125 leghe, ossia di 270 miglia italiane, il che mostra con quanta esattezza sia nota la distanza della luna dalla terra.

minore del raggio dell'orbita della luna, ne risulterebbe necessariamente per la parallasse del sole un valore 60 volte minore, vale a dire che questa parallasse sarebbe di 3'. Vedesi come Aristarco fosse lontano dal vero; poichè, secondo lui, la distanza del sole dalla terra sarebbe appena 20 volte maggiore di quella della terra dalla luna, mentre il rapporto di queste due distanze è di 400. Il suo metodo, ingegnosissimo del resto, non poteva condurlo ad un risultato esatto, tanto a cagione dell'eccessiva piccolezza dell'angolo L S T, quanto a cagione della poca precisione dei mezzi d'osservazione di cui esso poteva disporre.

Paragonando il raggio del sole, che contiene 112 raggi terrestri, colla media distanza della luna dalla terra, che non ne contiene che 60, si giunge ad una conseguenza singolare. Supponendo che il centro del sole fosse portato a coincidere col centro della terra, la superficie di quest'astro giungerebbe molto al di là della luna, essendo il suo raggio quasi doppio della distanza della luna dalla terra. Abbiamo quindi un mezzo semplice per formarci un'idea dell'immensità dell'astro a cui noi dobbiamo quasi totalmente la luce ed il calore che riceviamo sulla terra.

203. Per ridurre i risultati delle osservazioni della luna fatte in un luogo qualunque della terra a quelli che si sarebbero ottenuti se l'osservatore si fosse trovato al centro del globo, si opera precisamente come pel sole (149). L'effetto della parallasse sulla posizione apparente del centro della luna nel cielo si manifesta intieramente nel piano verticale in cui esso si trova; consiste quiudi unicamente in un aumento della distanza zenitale di questo centro, aumento che è tanto più grande quanto più l'astro è lontano dallo zenit. Per togliere quest'effetto della parallasse basta diminuire la distanza zenitale del centro della luna d'una quantità uguale alla sua parallasse d'altezza. La cognizione di questa parallasse d'altezza è necessaria per poterne correggere la posizione della luna, e può essere determinata nel modo seguente. Quando si fecero osservazioni simultanee in due luoghi B, C (fig. 277) per trovare il valore della parallasse orizzontale della luna, si misurò il diametro apparente dell'astro in ognuno di questi due luoghi; dalla costruzione del quadrilatero B O C L si ebbero d'altra parte le grandezze delle distanze B L, C L; vale a dire pel punto B, per esempio, l'osservazione fece conoscere insieme il diametro apparente della luna e la distanza dell'astro dall'osservatore. Ora è noto che il diametro apparente d'un astro varia in ragione inversa della distanza che lo separa dal luogo dell'osservazione; basta dunque misurare il

diametro apparente della luna ad un'epoca qualunque per dedurne con una semplice proporzione la distanza alla quale si trova dal luogo in cui siamo collocati. Per ciò, quando si abbia osservato la posizione del centro della luna nel cielo, non è difficile trovarne la sua parallasse d'altezza per ridurre la luna al punto in cui la si sarebbe veduta dal centro della terra: si misura perciò il diametro apparente del suo disco; se ne deduce la sua distanza A L (fig. 279) dal luogo d'osservazione; si conosce d'altra parte la sua distanza zenitale apparente L A Z, e per conseguenza si può costruire il triangolo O A L, per mezzo del quale si può misurare la parallasse d'altezza O L A.

Fig. 279.

Questo mezzo di determinare la parallasse d'altezza della luna ad un'epoca qualunque è quello cui si dovrebbe ricorrere se non si avessero a propria disposizione i risultati di osservazioni anteriori. Ma i moti degli astri sono conosciuti con tanta precisione da poterne in anticipazione predire le posizioni che debbono occupare rispetto alla terra per un'epoca qualunque; e le effemeridi astronomiche, che altro non sono che raccolte delle predizioni fatte per tal modo parecchi anni prima rispetto alle posizioni degli astri nel cielo, somministrano il valore della parallasse orizzontale equatoriale della luna per le diverse epoche d'ogni anno. Si può dunque togliere da esse il valore di questa parallasse per l'istante dell'osservazione che si vuol correggere; e diminuendola nel rapporto del raggio della terra corrispondente al luogo d'osservazione al raggio dell'equatore terrestre, rapporto che per Milano è uguale a 0,9983, si trova la parallasse orizzontale della luna che conviene al luogo in cui siamo collocati e all' istante in cui si è fatta l'osservazione; e da questa si deduce poi la parallasse d'altezza dell'astro, come già fu detto per il sole (149).

La correzione che abbiamo indicata per la distanza zenitale della luna, e che consiste nel sottrarne il valore della sua parallasse d'altezza, dovrà essere applicata al risultato somministrato dall'osservazione dell'astro al circolo murale (149). Quanto al risultato dell'osservazione al cannocchiale meridiano, esso non ha d'uopo di correzione, non avendo la parallasse la menoma influenza sull'istante del passaggio dell'astro pel piano del meridiano.

La grandezza della parallasse della luna fa comprendere la necessità di applicarvi la correzione che vi si riferisce prima di cercare di renderci ragione del moto della luna nel cielo. Il diametro apparente della luna è di circa un mezzo grado; la sua parallasse orizzontale è dunque quasi il doppio di questo diametro; per modo che, quando la luna è vicina all'orizzonte, essa ci apparisce totalmente al di sotto di certe stelle, che noi per opposto vedremmo al di sotto di essa se ci trovassimo collocati al centro della terra; mentre, quando la luna s'avvicina allo zenit, l'effetto della parallasse diventa debolissimo. Le differenti posizioni che successivamente occupa la luna frammezzo alle costellazioni sono dunque molto inegualmente modificate alle diverse ore d'una stessa giornata; e se non si tenesse conto dell'effetto della parallasse, il suo moto risulterebbe molto più complicato che non lo è in realtà. Malgrado la poca esattezza dei mezzi d'osservazione chè possedeva Ipparco, s'accorse questo grande astronomo degli spostamenti che ogni giorno prova la luna nel cielo per effetto della parallasse, e indicò la via da seguirsi per tener conto di quest'effetto, riferendo tutte le osservazioni al centro della terra.

204. Variazione diurna del diametro apparente della luna. — Pel solo fatto della rotazione della terra sopra sè stessa, ogni giorno noi ci avviciniamo e ci allontaniamo alternativamente dalla luna; e la distanza della luna dalla terra non è tanto grande che, per questo diurno spostamento che proviamo intorno all'asse della terra, non varii molto sensibilmente anche la grandezza del diametro apparente della luna. Tutto del resto accade allo stesso modo come se, restando immobile la terra, la luna assumesse successivamente differenti posizioni L, L', L'' (fig. 280), tutte ugualmente lontane dal centro O del nostro globo, ma più o meno vicine alla verticale A Z del luogo d'osservazione. Quando la luna trovasi all'orizzonte del punto A, la sua distanza da questo punto è sensibilmente uguale alla distanza O L; se, al contrario, la luna giunge allo zenit del punto A, la sua distanza da questo punto è minore di O L d'una quantità uguale al raggio O A della terra, che è press'a poco la sessante-

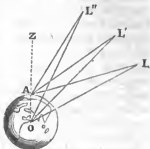



Fig. 280.

sima parte di O L. Adunque quando la luna passa dall'orizzonte d'un luogo al suo zenit, rimanendo anche alla stessa distanza dal centro della terra, il suo diametro apparente deve aumentare press'a poco nel rapporto di 59 a 60; vale a dire se il diametro della luna all'orizzonte è di circa minuti 31 $\frac{1}{2}$, ciò che è press'a poco il suo medio valore, questo diametro diviene più di 32′ quando la luna giunge allo zenit. Si comprende da ciò che a misura che la luna s'allontana dall'orizzonte per avvicinarsi allo zenit, vale a dire dal suo nascere fino al suo passaggio al meridiano del luogo, il suo diametro apparente deve aumentare in modo sensibilissimo; e che in appresso, quando la luna, dopo essere passata al meridiano, s'avvicina ognor più all'orizzonte, il suo diametro apparente deve diminuire, per riprendere, all'istante del tramonto del sole, il valore che aveva al suo nascere.

Osserviamo di passaggio che questa variazione diurna del diametro apparente della luna è precisamente contraria a quanto indica la testimonianza dei nostri sensi, giacchè la luna ci sembra più grande all'orizzonte che quando è giunta a una cert'altezza; ma eseguendo la misura del diametro apparente dell'astro a diverse distanze dallo zenit, si riconosce che questa diminuzione delle dimensioni dell'astro, a misura ch'esso si eleva, è una mera illusione, e che al contrario il diametro apparente dell'astro è tanto più grande quanto più piccola è la sua distanza zenitale. Abbiamo già parlato di quest'illusione ottica all'occasione del sole (124); e tutto quanto allora abbiamo detto è direttamente applicabile alla luna.

Si ha spesso bisogno di conoscere ad un'epoca qualunque il diametro apparente della luna, quale lo si vedrebbe se ci trovassimo collocati al centro della terra. Questo diametro non è quello stesso che si osserva dal luogo in cui ci troviamo sulla superficie del globo, ma lo si può da esso facilmente dedurre. Infatti abbiamo detto (203) che, mediante la misura del diametro apparente della luna veduta dal punto A (fig. 279) e la distanza zenitale L A Z del suo centro, si può costruire il triangolo O A L, dal quale poi si deduce il rapporto tra le due distanze A L, O L, rapporto che è precisamente uguale a quello del diametro apparente della luna veduta dal punto O al diametro apparente dello stesso astro veduto dal punto A: moltiplicando il diametro apparente della luna osservato in A per questo rapporto di A L ad O L, si troverà il diametro apparente dell'astro relativo al punto O.

La determinazione del luogo occupato dal centro della luna nel cielo, mediante l'osservazione d'uno dei lembi del suo disco,

suppone che si conosca il diametro apparente di questo disco, veduto dal luogo in cui ci troviamo (200). Abbiamo detto che questo diametro si può ottenere per mezzo d'una diretta osservazione; ma è preferibile toglierlo dalle effemeridi astronomiche. Ora, non potendo queste raccolte dare il diametro apparente della luna pei diversi luoghi della superficie della terra e per le diverse ore di ogni giorno in ognuno di questi luoghi, fanno soltanto conoscere i valori del diametro apparente dell'astro veduto dal centro della terra per le diverse epoche d'ogni anno. È dunque necessario applicare una correzione al diametro apparente della luna somministrato dalle effemeridi astronomiche per l'istante dell'osservazione, onde ottenere quello corrispondente al luogo in cui ci troviamo collocati; e questa correzione è precisamente l'opposta di quella che abbiamo ora indicata per dedurre il diametro apparente della luna veduta dal centro della terra, dal diametro di quest'astro veduto da un punto della superficie del globo terrestre. Per mezzo della distanza zenitale L A Z (fig. 279), somministrata dalla diretta osservazione, e della parallasse d'altezza O L A dedotta dalla parallasse orizzontale data dalle effemeridi astronomiche, si può costruire il triangolo O A L, per mezzo del quale si possono determinare le lunghezze dei lati A L, O L; e moltiplicando il diametro apparente della luna corrispondente al punto O pel rapporto di O L ad A L, trovasi il diametro apparente dell'astro corrispondente al punto A.

205. **Dimensioni della luna.** — Mediante la cognizione della parallasse della luna possiamo determinare immediatamente le dimensioni di quest'astro, e non avremo per ciò che a seguire il cammino già seguito pel sole (150). La parallasse orizzontale equatoriale della luna ha un valore medio di 57′ 40″ o di 3460″; all'istante in cui essa ha questo valore, il diametro apparente della terra, veduta dal centro della luna, è uguale al doppio di 3460″ ovvero a 6920″ (202): allo stesso istante il diametro apparente della luna, veduta dal centro della terra, è di 31′ 25″,7 ovvero di 1885″,7: il rapporto del raggio della luna al raggio dell'equatore terrestre è dunque uguale al rapporto di 1885,7 a 6920, rapporto che press'a poco è quello di 3 a 11. Così il raggio della luna è $\frac{3}{11}$ del raggio della terra, vale a dire un po' più del quarto di quest'ultimo raggio. Il volume della luna, supposta sferica, è circa $\frac{1}{49}$ di quello della terra (*).

(*) Pertanto, mentre il raggio terrestre è di 6367 chilometri, ossia di 3438 miglia italiane, il raggio della luna è di soli 1735 chilometri, ossia di 937

La figura 281 può dare un'idea delle grandezze relative della terra e della luna: il maggiore dei due circoli rappresenta la terra, il minore la luna. Perchè la distanza dei due circoli possa figurare nello stesso tempo la media distanza della luna e della terra, converrebbe che i loro centri fossero lontani l'uno dall'altro di $0^m,641$. Nella stessa scala il sole sarebbe rappresentato da un circolo di $1^m,204$ di raggio; e il centro di questo circolo dovrebbe trovarsi a 258 metri dal centro di quello che rappresenta la terra.

Fig. 281.

206. Moto della luna sulla sfera. — Prima d'intraprendere lo studio delle leggi del moto della luna, riassumiamo quanto abbiamo detto nei precedenti paragrafi relativamente alle osservazioni da farsi ed alle correzioni da applicarsi ai risultati delle dirette osservazioni, per ottenere le successive posizioni nelle quali il centro della luna sarebbe veduto da un osservatore collocato al centro della terra. Ogni giorno quando la luna passa pel meridiano del luogo in cui ci troviamo, si può osservare un lembo del suo disco al cannocchiale meridiano ed al circolo murale; correggendo i risultati di queste osservazioni (200), partendo dal valore del diametro apparente della luna, misurato direttamente (200), ovvero dedotto dalle indicazioni somministrate dalle effemeridi astronomiche (204), si trovano l'ascensione retta e la declinazione del centro della luna veduto dal luogo d'osservazione. L'ascensione retta così ottenuta è quella medesima che si sarebbe trovata osservando l'astro dal centro della terra; ma non è lo stesso della declinazione, la quale deve essere, secondo il caso, diminuita od aumentata della parallasse d'altezza dell'astro (149) per divenire uguale a quella che sarebbe stata trovata da un osservatore posto al centro della terra. Quanto a questa parallasse d'altezza essa può essere ottenuta (203) sia deducendola dal valore del diametro apparente della luna misurato direttamente e combinato colla distanza zenitale del suo centro, sia togliendola dalle indicazioni somministrate dalle ef-

miglia italiane. La superficie lunare poi risulta circa $\frac{1}{13}$ della superficie terrestre; perciò il disco della terra osservato dalla luna deve apparire tredici volte maggiore del disco lunare quale noi l'osserviamo dalla terra.

femeridi astronomiche combinate parimenti colla distanza zenitale.

Da un giorno all'altro successivo la posizione della luna sulla sfera celeste cambia notevolmente, come abbiamo già detto (194). Per formarsi un'idea dell'insieme degli spostamenti ch'essa così prova successivamente si può procedere come per il sole (128), segnando sopra un globo celeste i diversi punti in cui si è trovata alle epoche nelle quali venne osservata. Si riconosce così che in capo a poco più di 27 giorni la luna ha fatto il giro della sfera, per ritornare press'a poco al suo punto di partenza; e che in questo intervallo di tempo essa ha descritto press'a poco la periferia d'un circolo massimo della sfera, procedendo nella stessa direzione del sole, vale a dire da occidente verso oriente.

In un altro periodo di tempo uguale al precedente la luna fa ancora il giro della sfera, percorrendo del pari la circonferenza d'un circolo massimo; le medesime circostanze si riproducono in un terzo periodo della stessa durata di ognuno dei precedenti, e così di seguito. Ma tracciando su di un globo celeste la circonferenza del circolo massimo che la luna descrive in ogni rivoluzione, e misurando l'inclinazione di questo circolo massimo su l'equatore, trovasi che questa inclinazione non è sempre la stessa, ma varia da una rivoluzione alla seguente, per modo da passare successivamente per diversi stati di grandezza tra due limiti che sono circa 18° $\frac{1}{2}$ e 28° $\frac{1}{2}$.

In luogo di confrontare il circolo massimo, la cui circonferenza è descritta dalla luna sulla sfera in ogni sua rivoluzione, coll'equatore celeste, si può paragonarlo coll'eclittica, e cercare del pari l'angolo ch'esso fa con quest'ultimo circolo: si arriva allora ad un risultato tutto diverso da quello che venne enunciato; e trovasi che l'angolo dell'orbita della luna coll'eclittica non varia, ma conserva costantemente un valore di circa 5°.

207. Per renderci conto in modo conveniente delle circostanze ora indicate e risultanti da un primo esame delle posizioni che successivamente occupa la luna frammezzo alle costellazioni, è necessario considerare le cose più minutamente.

Esaminando attentamente la serie delle posizioni occupate dalla luna sulla sfera, nel periodo d'un suo intiero giro, si riconosce che alla fine di questo giro essa non viene a ripassare esattamente pei luoghi in cui la si era veduta da principio; la curva che le veggiamo descrivere sulla sfera celeste non si chiude (fig. 282), ma dopo aver tagliato l'eclittica A B C D in N, attraversa di nuovo questo circolo massimo in N', alquanto lateral-

mente al punto N: in un secondo giro essa percorre una nuova curva non chiusa, analoga alla precedente, ma occupante una posizione alquanto diversa sulla sfera; ed è lo stesso della curva da essa descritta in un terzo giro, e così di seguito; per modo che la luna muovesi attraverso alle costellazioni descrivendo sulla sfera una curva complicata, costituita di diverse spire che s'incrociano successivamente e si allontanano sempre più dalla prima che venne considerata. Queste spire successive si potrebbero paragonare a quelle d'un filo che avvolgesi intorno a un gomitolo rotondo, per modo che in questo avvolgimento il gomitolo venga a conservare la sua forma arrotondata.

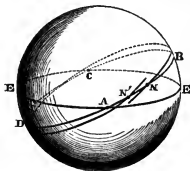



Fig. 282.

Per semplificare l'indicazione delle circostanze che presenta questo moto della luna, onde evitare di definire direttamente la curva complicata ch'essa descrive sulla sfera si ebbe ricorso ad un mezzo d'un uso frequente in astronomia. S'imagina che la luna muovasi sopra la periferia di un circolo, il quale si sposta esso medesimo poco a poco sulla sfera a misura che la luna ne percorre la periferia. Si comprende subito che con questo mezzo possiamo renderci conto d'un moto qualunque; ma dobbiamo pur vedere ch'esso si presta il meglio possibile alla rappresentazione del moto della luna.

Dal primo esame dei risultati delle osservazioni abbiamo veduto che la luna descrive la circonferenza d'un circolo massimo della sfera celeste; ma non presentando il moto della luna questo carattere di semplicità che quando ci limitiamo ad una grossolana approssimazione, comprendiamo che il cerchio massimo trovato, e che considereremo sempre come l'orbita della luna, muovesi lentamente sulla sfera in guisa d'occuparvi successivamente diverse posizioni, e potremo così soddisfare a tutte le condizioni del moto della luna quali risultano dalle più precise osservazioni. La discussione di numerose osservazioni, eseguite ad epoche diversissime, fece riconoscere che potevasi considerare il circolo massimo di cui abbiamo parlato come animato d'un moto uniforme di rotazione intorno all'asse dell'eclittica con direzione re-

trograda (162); in guisa che, malgrado questo continuo spostamento dell'orbita della luna, l'angolo che essa fa coll' eclittica conserva costantemente lo stesso valore di 5° 8' 48".

È facile il vedere che la variazione dell'obbliquità dell'orbita della luna sull'equatore è una conseguenza immediata del moto di rotazione di quest'orbita intorno all'asse dell'eclittica. Siano infatti A B C D l'eclittica (fig. 283), E E l'equatore, N L N' L' l'orbita della luna, O P l'asse del mondo, O K l'asse dell'eclittica ed O R una perpendicolare al piano dell'orbita della luna, perpendicolare che noi chiameremo l'asse di quest' orbita. Nel moto di rotazione dell'orbita N L N' L' intorno all'asse O K dell'eclittica, il punto R, polo di quest'orbita, percorre la circonferenza di un circolo minore R' R R" intorno al punto K; l'asse O R

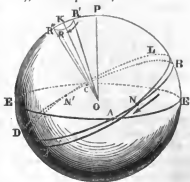



Fig. 283.

descrive la superficie d'un cono di rivoluzione il cui asse di figura è la retta O K. In questo moto l'angolo di O R con O K, che è sempre uguale all'inclinazione dell' orbita della luna sull'eclittica, conserva un valore costante press'a poco di 5° 9'. Ora ad ogni istante l'inclinazione dell'orbita della luna sull'equatore è uguale all'angolo che l'asse O R di quest'orbita fa coll'asse del mondo O P: vedesi dunque che quest'inclinazione deve variare, come l'angolo P O R, passando per tutte le grandezze da P O R' fino a P O R". Ma l'angolo P O R' non è altro che l'obbliquità dell'eclittica P O K, ossia 23° 28', diminuita dell'angolo K O R ,ossia di 5° 9', ciò che fa 18° 19'; parimente l'angolo P O R" è uguale a P O K aumentato di K O R, vale a dire il suo valore è di 28° 37': è dunque tra questi due limiti di 18° 19' e 28° 37' che deve variare l'inclinazione dell'orbita della luna sull'equatore. Si può osservare che quanto ora abbiamo detto è esattamente lo stesso di quanto già dicemmo per ispiegare la variazione dell'inclinazione dell'eclittica sull'orizzonte parlando della luce zodiacale (156).

208. Retrogradazione dei nodi della luna. — Chiamansi *nodi* i due punti N, N' (fig. 283) nei quali l'orbita della luna taglia l'eclittica, vale a dire i punti in cui trovasi la luna quando

passa dall'uno all'altro dei due emisferi determinati da questo circolo massimo. Il nodo N, nel quale la luna passa pel circolo dell'eclittica per portarsi nell'emisfero ove trovasi il polo boreale, dicesi ***nodo ascendente;*** l'altro nodo N' dicesi ***nodo discendente.***

Essendo l'orbita della luna animata d'un moto uniforme di rotazione intorno all'asse dell'eclittica, ognuno dei nodi N, N' partecipa a questo moto; questi punti si spostano adunque di moto uniforme lungo l'eclittica A B C D e nel verso della freccia posta vicina al punto N, vale a dire in verso contrario a quello secondo cui il sole e la luna percorrono le rispettive loro orbite. Gli è perciò che il moto di rotazione dell'orbita della luna intorno all'asse dell'eclittica è comunemente designato sotto il nome di ***retrogradazione dei nodi della luna.***

I nodi della luna compiono il giro dell'eclittica nel periodo di giorni 6793,39, ovvero di circa anni 18 $\frac{3}{5}$: in capo a questo tempo ognuno dei nodi trovasi occupare tra le stelle esattamente lo stesso posto che occupava da principio.

L'oscillazione dell'asse terrestre intorno alla sua media posizione, e che abbiamo indicato sotto il nome di ***nutazione dell'asse della terra*** (**172**), è regolata sul moto dei nodi della luna.

Si può osservare esservi una grande analogia tra il fenomeno della retrogradazione dei nodi della luna e quello della precessione degli equinozii. Il piano dell'equatore della terra non conserva costantemente la stessa direzione, ma ruota intorno all'asse dell'eclittica con moto retrogrado, restando sempre inclinato della stessa quantità sul piano dell'eclittica, ciò che costituisce la precessione. Questo moto è in tutto simile a quello dell'orbita della luna, di cui abbiamo ora indicate le circostanze; non ne differisce che per la velocità, la quale è molto minore per gli equinozii che pei nodi della luna. Vedremo più tardi che quest'analogia tra i due movimenti è una conseguenza naturale dell'identità delle cause che li producono.

209. Nutazione dell'orbita della luna. — L'analogia ora mostrata tra la precessione degli equinozii e la retrogradazione dei nodi della luna è aumentata eziandio quando studiansi più accuratamente le diverse successive posizioni del piano dell'orbita della luna.

Vedesi infatti che il moto uniforme di rotazione di cui abbiamo parlato intorno all'asse dell'eclittica non basterebbe a dar completa spiegazione di queste successive posizioni del piano dell'orbita. L'inclinazione di questo piano su quello dell'eclittica non conserva rigorosamente lo stesso valore di 5° 8′ 48″ che

abbiamo indicato; essa varia periodicamente intorno a questo medio valore entro limiti che l'uno dall'altro differiscono di 17′ 34″; per modo che il massimo valore di quest'inclinazione è di 5° 17′ 35″, e il suo minimo valore è di 5° 0′ 1″. L'inclinazione raggiunge il primo di questi due valori ogni volta che la luna è in quadratura, ed il secondo ogni volta che quest'astro è nelle sizigie.

In oltre il moto retrogrado dei nodi della luna non è rigorosamente uniforme, sibbene ora accelerato ed ora ritardato; in guisa che si può considerare ogni nodo come animato di due moti, uno dei quali sarebbe il moto uniforme di retrogradazione di cui abbiamo parlato nel paragrafo precedente, l'altro sarebbe un moto d'oscillazione intorno alla media posizione determinata dal primo moto.

Tycho Brahé, il quale scoprì la variazione periodica dell'inclinazione dell'orbita della luna sull'eclittica, come pure il moto d'oscillazione del nodo intorno alla media posizione che avrebbe se retrogradasse uniformemente, ha fatto vedere che queste due circostanze possono fra loro collegarsi in modo semplicissimo. Basta perciò imaginare che l'asse dell'orbita lunare provi una specie di nutazione intorno alla posizione che occuperebbe ad ogn'istante se non facesse che ruotare uniformemente intorno all'asse dell'eclittica, facendo sempre lo stesso angolo con quest'ultimo asse. Infatti se s'imagina che l'asse O R dell'orbita della luna (fig. 284) descriva la superficie di un certo cono circolare R O R′, e che nello stesso tempo l'asse O r di questo cono sia animato del moto uniforme di rotazione intorno ad O K, che da principio abbiamo solo attribuito alla retta O R, si riconosce che il piano dell'orbita dell'astro viene ad assumere successivamente le precise posizioni indicate dalle osservazioni. È d'uopo perciò che l'angolo formato da O R con O r rimanga costantemente uguale a 8′ 47″, e che l'asse O R dell'orbita della luna faccia due volte il giro del cono R O R′ da un novilunio fino al novilunio seguente, vale a dire nel periodo di circa 29 giorni ½.

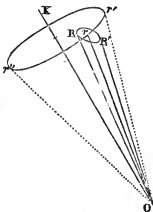



Fig. 284.

Così l'asse dell'orbita della luna si sposta intorno all'asse dell'eclittica in virtù d'un doppio movimento, come la linea dei poli della terra. V'ha però una differenza che si è dovuto notare, e che è bene di qui indicare, ed è che la nutazione dell'asse terrestre consiste in un moto di quest'asse sulla superficie d'un cono a base ellittica (172), mentre il moto analogo dell'asse dell'orbita lunare si compie sopra una superficie conica a base circolare.

210. Rivoluzioni siderea e sinodica della luna. — Dal confronto tra le osservazioni della luna, fatte ad epoche lontane le une dalle altre, si può determinare con grande esattezza il tempo che impiega l'astro a compiere l'intiero giro della sfera celeste ed a ritornare ad una medesima posizione rispetto alle stelle. Questo tempo, designato sotto il nome di *rivoluzione siderea della luna*, era al principio di questo secolo di giorni 27,321661, o press'a poco di giorni 27 $\frac{1}{3}$, ma non ebbe sempre lo stesso valore, e si è riconosciuto ch'esso diminuisce poco a poco dall'epoca delle più antiche osservazioni, o, in altri termini, che il moto medio della luna accelera di secolo in secolo.

La durata della rivoluzione siderea della luna è contenuta nella durata d'un anno per più di 13 volte, vale a dire, mentre il sole compie in apparenza un giro intorno alla terra, la luna ne compie più di tredici.

Considerando la luna al suo partire da un punto d'una certa costellazione, poi quando vi ritorna dopo aver compiuto un intiero giro del cielo, essa non trovasi nei due casi ugualmente collocata rispetto al sole; essendochè nell'intervallo quest'astro si è spostato d'una quantità notevole lungo la periferia dell'eclittica. Perchè la luna, partendo da una certa posizione rispetto al sole, ritorni alla medesima posizione rispetto ad esso, è d'uopo ch'essa compia più d'un giro sulla sfera celeste; vale a dire che essa percorra una circonferenza di cerchio aumentata del cammino descritto dal sole nell'intervallo di tempo di cui si tratta. Dicesi *rivoluzione sinodica della luna* il tempo che la luna impiega a compiere un intiero giro rispetto al sole: il suo valore al principio di questo secolo era di giorni 29,530589 ovvero di circa giorni 29 $\frac{1}{2}$. Questo valore, che dipende insieme dalla durata dell'anno e dalla durata della rivoluzione siderea della luna, diminuisce a poco a poco, di secolo in secolo, in conseguenza della diminuzione dell'ultima di queste due quantità.

211. Lunazione. — Da quanto abbiamo detto nella spiegazione delle fasi della luna, il novilunio dovrebbe giungere al-

l'istante preciso in cui il centro della luna trovasi tra il sole e la terra, e sulla retta che congiunge i centri di questi due corpi. Ora è rarissimo l'incontrarsi in siffatta circostanza: quando la luna passa tra il sole e la terra, il suo centro trovasi generalmente ad una certa distanza dal piano dell'eclittica da una parte o dall'altra di questo piano, e per conseguenza non può essere sulla retta che congiunge il centro del sole col centro della terra. Si è dunque obbligati a definire in modo alquanto differente l'istante cui si assegna il nome di novilunio.

Ad ogni istante la longitudine e la latitudine della luna (141) hanno valori particolari, i quali variano dall'uno all'altro istante dipendentemente dal moto della luna nel cielo. La longitudine aumenta continuamente, poichè la luna muovesi sulla sfera celeste seguendo press'a poco il circolo massimo dell'eclittica nella direzione medesima del moto del sole sopra questo cerchio; quanto alla latitudine, essa è ora boreale, ora australe, poichè l'astro trovasi alternativamente dall'una e dall'altra parte dell'eclittica. Affinchè il centro della luna si trovasse esattamente sulla retta che passa pei centri della terra e del sole, converrebbe che la longitudine di quest'astro fosse uguale a quella del sole, e che nello stesso tempo la sua latitudine fosse nulla. La simultanea esistenza di queste due condizioni, in luogo di riprodursi ad ogni rivoluzione sinodica della luna, essendo per contrario un fatto totalmente eccezionale e rarissimo, si ha riguardo soltanto alla prima, e dicesi che ha luogo il novilunio quando la longitudine del centro della luna è uguale a quella del centro del sole. Parimente si dice che hanno luogo il primo quarto, il plenilunio e l'ultimo quarto quando la longitudine del centro della luna è maggiore di quella del centro del sole di 90°, di 180°, di 270°.

L'intervallo di tempo compreso tra due novilunii consecutivi costituisce ciò che dicesi un mese lunare o una *lunazione;* e la durata di quest'intervallo di tempo altro non è che la rivoluzione sinodica della luna, vale a dire essa è di circa 29 giorni e mezzo.

212. Età della luna; epatta. — L'*età della luna* a un'epoca qualunque è l'indicazione del numero dei giorni trascorsi dal precedente novilunio fino all'epoca di cui si tratta. Dalla cognizione di questa età deriva immediatamente quella della fase in cui si trova la luna all'epoca medesima: ci è dunque utile in molte circostanze di conoscere l'età della luna per poterci render conto del modo con cui c'illuminerà durante la notte. L'età

della luna è perciò data per tutti i giorni dell'anno nei principali annuarii, come nell'*Annuario dell'Ufficio delle longitudini*, che si pubblica a Parigi.

Essendo quest'età della luna rappresentata comunemente con un numero esatto di giorni senza frazione, è utile il dire in qual modo essa si conta. Per tutto il corso delle 24 ore, a partire dall'istante preciso del novilunio, dicesi che la luna ha 1 giorno; nel corso delle seguenti 24 ore dicesi che ha 2 giorni, e così di seguito: l'età della luna è dunque rappresentata successivamente dai diversi numeri intieri dall'1 fino al 30. L'*Annuario dell'Ufficio delle longitudini* porge l'età della luna contata in questo modo per ogni giorno a mezzodì.

V'ha un mezzo semplice per determinare approssimatamente l'età della luna ad un'epoca qualunque, servendosi unicamente d'un numero particolare chiamato *epatta*, il quale rimane il medesimo per tutto il corso d'uno stesso anno, e cambia da un anno ad un altro: questo numero altro non è che l'età che aveva la luna al 31 dicembre dell'anno precedente. Ecco come si procede per un giorno qualunque appartenente a un anno non bisestile: si comincia dall'aggiungere all'epatta il numero dei mesi intieri trascorsi dal 1.° gennajo o dal 1.° marzo fino al giorno di cui si tratta, secondo che questo giorno è anteriore o posteriore al 1.° marzo; poi si aggiunge al risultato il numero che indica la data del giorno del mese in cui è contenuto; la somma così ottenuta, diminuita di 30 unità se è maggiore di 30, rappresenta l'età della luna.

Così supponiamo che vogliasi trovare l'età della luna pel 7 febbrajo d'un anno la cui epatta sia 9. Si aggiungerà dapprima un'unità a 9, a cagione del mese di gennajo compreso tra il 1.° gennajo ed il 7 febbrajo, ciò che farà 10; poi si aggiungeranno a questo numero 7 unità a cagione della data del giorno di cui si tratta, e troverassi così 17 per l'età della luna.

Supponiamo ancora che vogliasi trovare l'età della luna pel 25 luglio dello stesso anno. Si aggiungeranno da prima quattro unità all'epatta 9, a cagione dei quattro mesi intieri (marzo, aprile, maggio, giugno) compresi tra il 1.° marzo e il 25 luglio, ciò che farà 13; poi si aggiungeranno 25 unità (data del giorno) a questo numero 13, e si otterrà 38; essendo questo risultato maggiore di 30, se ne sottrarranno 30 unità, e rimarrà 8 per l'età della luna corrispondente al 25 luglio.

Per renderci conto di questa regola osserviamo dapprima che, conoscendo l'età della luna per l'ultimo giorno d'un mese, ba-

sta evidentemente aggiungervi 1, 2, 3, 4,... unità per avere l'età della luna pel 1.°, pel 2, pel 3, pel 4,... del mese seguente; e che, quando abbiasi così ottenuto un numero maggiore di 30, ciò deriva dall'essersi oltrepassata la fine della lunazione che si considerava, per entrare nella lunazione seguente; per modo che in quest'ultimo caso basta diminuire il numero ottenuto d'una quantità uguale alla durata d'una lunazione, vale a dire di 30 (invece di 29,53) per avere ancora l'età della luna. Ciò posto vediamo subito che mediante la regola annunciata si otterrà veramente l'età della luna per un giorno qualunque di gennajo; poichè, seguendo questa regola, non si avrà che aggiungere la data del giorno all'epatta, vale a dire all'età che aveva la luna al 31 dicembre precedente, e quindi, se fa d'uopo, diminuire il risultato di 30 unità. Per trovare l'età della luna ad un'epoca qualunque del mese di febbrajo, basta aggiungere la data corrispondente a quest'epoca all'età della luna pel 31 gennajo; ora, da quanto abbiamo detto, l'età della luna al 31 gennajo è uguale all'epatta aumentata di un'unità; adunque la regola conduce anche in questo caso a un risultato esatto pel mese di febbrajo. Al 28 febbrajo sono trascorsi 59 giorni dal 31 dicembre, vale a dire 31 in gennajo e 28 in febbrajo, ora 59 giorni formano assai prossimamente il doppio della durata d'una lunazione; l'età della luna, pel 28 febbrajo, è dunque precisamente uguale all'epatta, ed in conseguenza la regola indicata porgerà esattamente l'età della luna per tutta la durata del mese di marzo. Continuando nella stessa maniera ad esaminare l'applicazione di questa regola pei differenti mesi dell'anno, si vedrà che col suo mezzo si può trovare l'età della luna ad un'epoca qualunque, coll'approssimazione d'un giorno, la quale è sempre sufficiente avuto riguardo all'oggetto che si ha di mira in questa determinazione.

La regola è stata enunciata per un anno comune di 365 giorni, ma dev'essere alquanto modificata quando trattasi d'un anno bisestile. Infatti in un simile anno il mese di febbrajo ha 29 giorni: il 28 febbrajo l'età della luna è sempre uguale all'epatta; ma il domani, 29 febbrajo, è uguale all'epatta aumentata di un'unità, ed è quest'età corrispondente al 29 febbrajo che per tutto il resto dell'anno fa la vece dell'epatta negli anni comuni. Così in ogni caso si applicherà la regola quale venne enunciata, alla condizione d'aumentare l'epatta di un'unità quando si tratta d'un giorno appartenente ad un anno bisestile e posteriore al 29 febbrajo.

213. Moto della luna intorno alla terra. — Fin qui non ci siamo occupati che del progressivo cambiamento della direzione secondo cui discerniamo la luna, senza tener conto in modo alcuno della variazione della distanza di quest'astro dalla terra; e non fu che riferendo col pensiero la luna a una distanza invariabile dalla terra che abbiamo potuto dire ch'essa descrive sulla sfera celeste la periferia di un cerchio massimo, il quale pure si sposta secondo certe leggi; il che significa semplicemente ch'essa muovesi in un piano che passa pel centro della terra, e la cui posizione cambia ad ogni istante. Facciamo un altro passo, e vediamo come la luna s'allontana e s'avvicina alternativamente da noi nel tempo medesimo che ci apparisce muoversi attraverso alle costellazioni.

Gli antichi astronomi, nell'impossibilità in cui erano di determinare per mezzo di osservazioni il rapporto secondo cui la distanza della luna dalla terra variava da un'epoca ad un'altra, ricorsero, come per il sole, ad ipotesi. Abbiamo veduto quali erano le loro idee intorno al moto di quest'ultimo astro nello spazio (144 e 145): con mezzi analoghi cercarono di dare spiegazione delle diverse circostanze del moto della luna. Risultando dall'osservazione che la luna muovesi sulla sfera celeste con una velocità variabile, imaginarono diverse combinazioni di moti circolari ed uniformi per ispiegare la variazione continua della sua velocità. Le due ipotesi adottate pel sole furono cimentate anche per la luna. Quella dell'eccentrico (144) dovette essere alquanto modificata a cagione della circostanza che il punto del cielo in cui la luna muovesi colla maggiore velocità si sposta progressivamente fra le stelle con moto diretto; per cui si dovette supporre che nel medesimo tempo che la luna descriveva uniformemente la periferia del cerchio eccentrico E E (fig. 285), il centro O di questo circolo ruotasse lentamente intorno alla terra T e nella medesima direzione. L'ipotesi dell'epiciclo e del deferente (145) non potè essere adottata che con un'analoga modificazione, la quale consisteva nel supporre che la luna L (fig. 286) impiegasse alquanto maggior tempo a compiere il giro dell'epiciclo che non mettesse il centro C di quest'epiciclo a fare il giro del deferente: in tal modo, poichè la luna, partendo da una posizione L, in cui essa aveva la sua maggior velocità sulla sfera celeste, non poteva ritornare ad un'analoga posizione L' che dopo aver fatto tutto il giro dell'epiciclo, il centro di quest'epiciclo percorreva nel medesimo tempo alquanto più della circonferenza del deferente, e veniva a portarsi in C' nella direzione di un'altra regione del cielo.

Il confronto tra le posizioni della luna risultanti dall'una e dall'altra delle precedenti ipotesi con quelle somministrate dal-

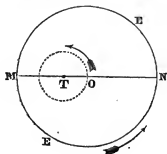
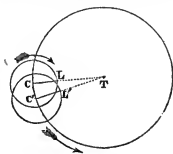



Fig. 285. Fig. 286.

l'osservazione fece ben presto riconoscere che queste ipotesi non bastavano a render conto delle diverse circostanze del moto dell'astro. Si dovette per ciò modificarle di nuovo, ammettendo, per esempio, per quella dell'epiciclo e del deferente, che non era la luna che percorreva uniformemente la circonferenza dell'epiciclo, ma che questa circonferenza era percorsa dal centro D d'un altro epiciclo più piccolo, sul quale muovevasi la luna L (fig. 287). Comprendesi che accumulando così un certo numero di moti circolari ed uniformi, e combinandoli insieme opportunamente, doveasi pervenire a dare alla luna un moto angolare intorno alla terra, il quale fosse precisamente quel medesimo che risulta dalle osservazioni; ma nello stesso tempo allontanavasi considerabilmente dalla semplicità dei moti che a tutta prima si aveva avuto di mira, considerando il moto circolare e uniforme come il solo che avesse un'esistenza reale. E quand'anche non si avessero avuti forti motivi per rigettare queste idee degli antichi per mezzo di altre considerazioni, la grande complicazione derivante da questi epicicli ed eccentrici sovrapposti avrebbe dovuto dissuadere dal considerarli altrimenti che come mezzi fattizii atti a rappresentare l'insieme dei risultati somministrati dall'osservazione.

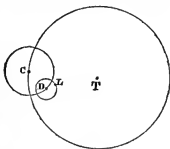



Fig. 287.

Ma dacchè si poterono ogni giorno seguire i cangiamenti provati dalla distanza della luna dalla terra, mediante il confronto dei valori successivi del diametro apparente dell'astro riferito al centro del nostro globo, si riconobbe che tali cambiamenti di distanza erano in pieno disaccordo con quelli che risultavano dalle ipotesi ammesse.

214. Confrontando le diverse posizioni successivamente occupate dalla luna sulla sfera celeste coi valori corrispondenti del suo diametro apparente, si vede che la luna può essere considerata come muoventesi intorno alla terra seguendo leggi analoghe a quelle del moto apparente del sole intorno alla terra. La luna descrive un'ellisse, di cui la terra occupa uno dei fochi, e la descrive seguendo la legge delle aree (147).

Ma queste leggi, che sono in perfetto accordo colle osservazioni quando trattasi del moto apparente del sole, non debbono essere qui considerate che come rappresentanti approssimatamente il vero moto della luna nello spazio. La luna non le segue esattamente; essa trovasi ora da un lato ora dall'altro rispetto alla posizione che occuperebbe se queste leggi del moto ellittico fossero rigorosamente vere, senza per altro allontanarsi molto da questa posizione.

L'eccentricità dell'ellisse secondo cui muovesi press'a poco la luna è uguale a 0,0548, ossia circa $\frac{1}{18}$.

L'ellisse non rimane immobile nel suo piano, ma ruota intorno alla terra, alla stessa maniera che l'ellisse apparentemente descritta dal sole in un anno (165). Il moto dell'asse maggiore dell'ellisse lunare è diretto al pari di quello dell'ellisse solare; e non havvi altra differenza tra i moti di queste due ellissi che nella velocità, la quale è molto maggiore per la luna che per il sole: il perigeo lunare compie tutto il giro del cielo in giorni 3232,57 ossia in poco meno di 9 anni.

Per avere ad ogn'istante la vera posizione della luna nel cielo è d'uopo modificare d'una certa quantità quella ch'essa avrebbe se rimanesse rigorosamente sull'ellisse della quale abbiamo parlato, e se la percorresse esattamente seguendo la legge delle aree; ma la correzione da applicarsi alla posizione ellittica della luna per averne la posizione reale varia da uno all'altro istante, seguendo leggi complicatissime. La discussione delle osservazioni, fatte in gran numero e ad epoche diverse, fece conoscere le parti principali di cui si compone questa correzione; e queste parti si riferiscono ai moti che comunemente si designano coi nomi di *evezione*, di *variazione* e di *equazione annua*, le cui

scoperte sono dovute ad Ipparco, a Tolomeo e a Tycho-Brahé. Ma se altro mezzo non si avesse avuto che la discussione delle osservazioni per giungere alla cognizione delle numerose *ineguaglianze* esistenti nel moto della luna, ci troveremmo assai meno inoltrati di quello che infatti non siamo. Fortunatamente la teoria della gravitazione universale venne a facilitare il lavoro, facendo conoscere una moltitudine di piccole ineguaglianze, il cui insieme ha una notevole influenza sulla posizione della luna ad ogn'istante, e delle quali sarebbe stato difficilissimo, se non impossibile, il trovare la natura e la grandezza, qualora si avesse dovuto separare le une dalle altre col mezzo della sola combinazione dei risultati dell'osservazione.

215. Rotazione della luna. — Ad occhio nudo noi discerniamo sulla superficie della luna degli spazii grigiastri, de' quali abbiamo già parlato (196), e che col loro insieme danno grossolanamente alla luna l'apparenza d'una figura umana. Tutti hanno potuto osservare che queste specie di macchie conservano sempre la stessa posizione rispetto al contorno della luna; giacchè se ne veggiamo scomparire progressivamente una porzione ognor più grande, per vederle ricomparire in appresso, ciò deriva dal non poterle noi discernere che quando trovansi nella parte della superficie della luna, la quale si presenta direttamente illuminata dal sole. Da ciò concludiamo necessariamente che la luna rivolge sempre verso la terra la medesima porzione della sua superficie; e noi non vediamo che un emisfero della luna, mentre l'altro emisfero ci rimane costantemente nascosto.

Secondo le idee che gli antichi astronomi avevano del moto non si avrebbe in ciò una prova che la luna ruota sopra sè stessa; al contrario se ne sarebbe dedotta la mancanza di ogni rotazione dell'astro intorno al suo centro. Per far muovere un epiciclo sopra un deferente (fig. 216, pag. 306) essi consideravano quest'epiciclo nelle stesse condizioni come se fosse attaccato al centro T del deferente per mezzo di un'asta rigida che lo trascinasse ruotando intorno a questo centro, in guisa che il punto S dell'epiciclo giungesse necessariamente in a', a'', a''', rimanendo sempre sulla retta che congiunge il centro dell'epiciclo col centro del deferente. Vedesi adunque che se si fa muovere alla stessa maniera la luna intorno alla terra, come se essa fosse attaccata a un'asta rigida diretta verso il centro di quest'ultimo corpo, e mobile intorno a questo centro, la luna volgerà sempre necessariamente la stessa faccia verso la terra; e non farà d'uopo imaginare ch'essa ruoti sopra sè stessa per

darci spiegazione delle apparenze. Ma non è così che le cose debbono essere considerate.

La luna non è per nulla collegata colla terra per mezzo d'un corpo rigido; essa è affatto isolata nello spazio, e per conseguenza libera di muoversi e ruotare intorno al suo centro in tutti i modi possibili. Per vedere se essa ruota sopra sè stessa è d'uopo considerare nel suo interno una retta qualunque, e vedere se questa retta cambia direzione col tempo. Se questa retta non cambia direzione, se essa rimane sempre parallela a sè stessa, malgrado il moto con cui la luna si trasporta intorno alla terra, e se lo stesso ha luogo per tutte le altre rette che si potrebbero considerare all'interno della luna, si potrà dire che quest'astro non è animato d'alcun moto di rotazione intorno al suo centro. Che se al contrario si riconosce che certe linee tracciate all'interno della luna assumono successivamente differenti posizioni nello spazio, se ne dovrà conchiudere che la luna ruota intorno sè stessa; e non sarà difficile il determinare il diametro intorno a cui si compie questa rotazione. Ora è precisamente quest'ultimo caso che si presenta.

Poichè la luna rivolge sempre la stessa faccia verso la terra, il raggio del globo lunare, che ad un istante qualunque è diretto verso il centro della terra, si sposta rimanendo costantemente diretto verso questo medesimo punto; questo raggio adunque non rimane parallelo a sè stesso, ciò che vuol dire che la luna ruota intorno al suo centro nello stesso tempo che muovesi intorno alla terra. Se la luna si trasportasse da L in L' (fig. 288) senza ruotare intorno sè stessa il suo raggio L *a* verrebbe ad assumere la posizione parallela L' *b*, e il punto della sua superficie che dapprima si vedeva in *a* al centro del suo disco, si troverebbe allora in *b*, e lo si vedrebbe vicino ad uno dei lembi di questo disco. Mostrando l'osservazione che il punto che si è veduto in un istante qualunque al centro del disco della luna apparisce sempre nella stessa posizione centrale, è d'uopo ritenere che la luna, mentre passa da L in L', ruoti intorno a sè stessa in guisa che il raggio L *a* acquisti la direzione L' *a'*; e ciò non può accadere evidentemente

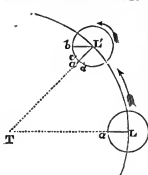



Fig. 288.

che nel solo caso che la luna ruoti intorno ad un asse perpendicolare al piano della sua orbita, e che l'angolo $bL'a'$, di cui essa ruota intorno a quest'asse, sia uguale all'angolo LTL' che essa descrive nello stesso tempo intorno alla terra.

Così dal rivolgere la luna sempre la stessa faccia verso la terra si può conchiudere che quest'astro è animato di un moto di rotazione sopra sè stesso nella direzione del suo moto di rivoluzione intorno alla terra; e che il tempo ch'esso impiega a compiere un intiero giro intorno al suo centro è precisamente uguale a quello che impiega a fare un intiero giro intorno alla terra; per modo che questa durata della rotazione della luna sopra sè stessa è press'a poco di 27 giorni e un terzo di giorno.

216. Librazioni della luna. — Partendo dal fatto che le macchie della luna ci appariscono occupare sempre lo stesso posto sul suo disco, abbiamo potuto verificare l'esistenza della rotazione della luna sopra sè stessa e determinare le principali circostanze di questo moto. Ma un tal fatto non ha luogo rigorosamente.

L'osservazione delle macchie della luna ad occhio nudo non è suscettibile di molta precisione, sopratutto perchè le macchie veggonsi vaghe e mal definite; e se anche queste macchie si spostassero d'una piccola quantità rispetto al contorno del disco, ora in un verso, ora nell'altro, noi non ce ne accorgeremmo. Ma quando si osserva la luna con un cannocchiale, ancorchè dotato di un debole ingrandimento, si discernono sulla superficie dell'astro dei punti notevoli e perfettamente distinti, le cui posizioni si possono facilmente e con tutta precisione valutare. Ora osservando così la luna ad epoche diverse si riconosce che i punti sui quali si è portata specialmente l'attenzione non rimangono sempre nella stessa posizione rispetto al contorno del disco; ma ognuno di essi sembra oscillare dall'una e dall'altra parte intorno ad una media posizione. Tali oscillazioni per altro avvengono nello stesso tempo e nel medesimo verso pei diversi punti che si osservano, in guisa che debbansi naturalmente attribuire ad un moto di oscillazione o di ondulamento che la luna intiera prova intorno al suo centro, moto a cui partecipano le diverse macchie che veggonsi alla sua superficie. Questo moto particolare della luna ricevette il nome di *librazione* (dal vocabolo latino *librare*, che significa oscillare). Galileo, che fu il primo a dirigere un cannocchiale verso il cielo, fu pure il primo che abbia riconosciuta l'esistenza di questo moto.

La librazione della luna è dovuta a tre cause distinte che noi dobbiamo successivamente esaminare. Ognuna di queste cause dà luogo ad una particolare librazione, e dalla coesistenza di queste tre librazioni viene determinato il moto d'oscillazione delle macchie lunari, quali risultano dall'osservazione. Le tre librazioni particolari di cui parliamo sono conosciute sotto i nomi di *librazione in longitudine, librazione in latitudine* e *librazione diurna.*

217. Da quanto abbiamo detto (215) perchè una macchia che ci apparisce in un istante qualunque esattamente al centro del disco lunare si mantenga costantemente in questa posizione centrale, è d'uopo: 1.° che la luna ruoti intorno ad un asse perpendicolare al piano della sua orbita; 2.° che l'angolo di cui essa ruota intorno a quest'asse sia sempre uguale a quello che descrive nel medesimo tempo intorno alla terra. Fermiamoci dapprima a questa seconda condizione.

Gli angoli, come L T L′, che la luna descrive intorno alla terra in tempi successivi ed uguali non sono fra di loro uguali; poichè la luna muovesi intorno alla terra seguendo press'a poco la legge delle aree (214), e quindi il suo moto angolare intorno al centro del nostro globo è più o meno rapido secondo che essa ne è più o meno vicina. Quanto al moto di rotazione della luna intorno sè stessa, è naturale per contrario l'ammettere che esso sia uniforme come nella rotazione della terra; d'altra parte le leggi della meccanica indicano che così dev'essere. Non è dunque possibile che vi sia costantemente uguaglianza assoluta tra l'angolo di cui la luna ruota intorno a sè stessa e quello che nel medesimo tempo essa descrive intorno alla terra. Siccome però l'osservazione ci indica che la luna rivolge sempre verso di noi la medesima metà della sua superficie, così se ne deve conchiudere che in termine medio esista rigorosa uguaglianza tra la velocità angolare della luna intorno a sè stessa e la sua velocità angolare intorno alla terra; ma questa uguaglianza, che ha luogo per termine medio, non ha luogo ad ogn'istante, e la velocità angolare della luna intorno alla terra ora è più grande, ora è più piccola della velocità costante colla quale essa ruota intorno sè stessa. Ne deriva che quest'ultimo moto, in virtù del quale la macchia centrale del disco lunare tende sempre a ritornare nella stessa posizione apparente, rimane ora in ritardo, ora in anticipazione rispetto al moto di rivoluzione della luna intorno alla terra; per modo che questa macchia, che erasi veduta in *a* (fig. 288) quando la luna era in L, in luogo d'essere

situata in a' quando la luna è giunta in L', trovasi alquanto a lato del punto a', in c ovvero in d.

Vedesi pertanto che in conseguenza dell'essere uniforme il moto di rotazione della luna sopra sè stessa, e del non essere uniforme il suo moto angolare intorno alla terra, la macchia centrale del suo disco deve apparire ora da una parte, ora dall'altra del centro del disco medesimo; essa dunque deve sembrare animata di un moto d'oscillazione, comune del resto alle altre macchie che la circondano: questo moto si designa col nome di *librazione in longitudine*. Questa particolare denominazione della librazione, la cui causa abbiamo ora assegnata, deriva da ciò che questo moto si compie nella direzione del piano dell'orbita della luna, direzione che è press' a poco quella stessa del circolo massimo dell'eclittica, lungo la cui circonferenza si contano le longitudini degli astri.

218. La prima delle due condizioni citate al principio del precedente paragrafo non è meglio soddisfatta della seconda, ciò che dà origine alla *librazione in latitudine*. L' asse di rotazione della luna, in luogo d' essere esattamente perpendicolare al piano della sua orbita, è alquanto inclinato rispetto a questo piano, e si trasporta parallelamente a sè stesso, facendo colla perpendicolare al piano dell' orbita un angolo di circa 6° 37'. È facile il vedere che basta questa circostanza per produrre una librazione delle macchie. Per persuadercene consideriamo la luna nelle due posizioni diametralmente opposte sulla sua orbita in L ed in L' (fig. 289); e vedesi bentosto

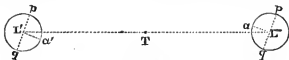



Fig. 289.

che quando la luna è in L non può discernersi il suo polo p, e si discerne facilmente il polo opposto q; mentre quando la luna è giunta in L', il polo p diviene visibile, e diviene a sua volta invisibile il polo q. Un punto a dell'equatore lunare apparisce nel primo caso al di sopra del centro del disco; e quando la luna ha fatto un semi-giro intorno alla terra per giungere in L', e per conseguenza ha fatto press' a poco un semi-giro sopra sè stessa intorno al suo asse pq, il punto a dell'equatore lunare è giunto a collocarsi in a', vale a dire al di sotto del centro del disco. Così in conseguenza dell'obbliquità del-

l'asse di rotazione della luna rispetto al piano della sua orbita, le macchie della sua superficie debbono provare un moto d'oscillazione con direzione perpendicolare al piano dell'orbita, vale a dire press'a poco perpendicolare al piano dell'eclittica. Egli è perciò che il moto d'oscillazione di cui si tratta venne chiamato librazione in latitudine.

Abbiamo detto che l'asse di rotazione della luna si trasporta parallelamente a sè stesso. Se questo parallelismo si conservasse costantemente e senz'alcuna alterazione, ne deriverebbe necessariamente un cambiamento d'obbliquità di quest'asse rispetto al piano dell'orbita lunare, poichè il piano dell'orbita cambia a poco a poco di direzione nello spazio (207); ma dall'osservazione risulta che la direzione dell'asse di rotazione della luna cambia nello stesso tempo che cambia la direzione di questo piano, in guisa che l'angolo formato dall'asse e dal piano rimane sempre il medesimo, e per conseguenza la librazione in latitudine mantiene sempre la stessa ampiezza.

Ecco in che consiste il progressivo cambiamento di direzione dell'asse di rotazione della luna, fenomeno la cui scoperta è dovuta a Domenico Cassini (*). Se pel punto L (fig. 290), in cui trovasi il centro della luna ad un istante qualunque, si conducono la retta L U perpendicolare al piano dell'eclittica A B C D, poi la retta L V perpendicolare al piano dell'orbita lunare N L N′ L′, l'asse di rotazione L X della luna trovasi sempre nel piano delle due rette L U, L V, ed è collocato rispetto a queste due rette come lo indica la figura. L'angolo U L X è uguale ad 1° 28′ 45″, l'angolo V L U è d'altra parte uguale per medio a 5° 8′ 48″; in guisa che l'angolo V L X è di 6° 37′ 33″. È noto che, fatta astrazione dalla nutazione dell'orbita lunare, la retta L V ruota intorno ad L U con moto retrogrado, descrivendo la

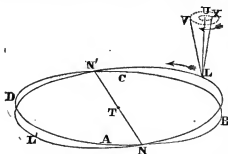



Fig. 290.

(*) Celebre astronomo italiano, nato nel 1625 nella contea di Nizza, morto nel 1712 a Parigi, ove Colbert l'aveva chiamato nel 1669 per metterlo alla testa dell'Osservatorio in allora fondatovi. (*L'Autore.*)

superficie d'un cono di rivoluzione ch'essa percorre in 18 anni e $\frac{2}{3}$: risulta dunque da quanto fu detto, che l'asse di rotazione L X ruota nello stesso tempo intorno ad L U descrivendo egualmente la superficie d'un cono di rivoluzione nella stessa direzione e colla stessa velocità.

219. Se non esistesse nessuna delle due librazioni delle quali abbiamo parlato, vi sarebbe un raggio della luna che si manterrebbe costantemente diretto verso il centro della terra, ed un osservatore posto in questo punto vedrebbe l'estremità del medesimo raggio occupare sempre esattamente il centro del disco lunare. Ma un osservatore posto alla superficie della terra non trovasi nelle medesime condizioni. Ammettiamo per semplicità che, in virtù del moto diurno, la luna passi precisamente allo zenit del punto A (fig. 291) d'onde la si osserva; alle diverse ore della giornata il raggio L a della luna, che supponiamo sempre diretto verso il centro T della terra, deve apparire assumere successivamente differenti posizioni, quali L a, L′ a', L″ a''. Quando la luna è in L, poco dopo il suo nascere, il punto a apparisce alquanto all'oriente del centro c del disco lunare; quando la luna è allo zenit in L′, questo punto apparisce in a' al centro del disco; e quando la luna è in L″, poco prima del suo tramonto, lo stesso punto apparisce in a'' alquanto all'occidente del centro c'' del disco; il punto a deve dunque apparire oscillare ogni giorno dall'una e dall'altra parte della sua media posizione. Le macchie della luna proveranno dunque evidentemente un analogo moto d'oscillazione qualunque sia la posizione dell'osservatore sulla terra; e questo moto dicesi *librazione diurna*.

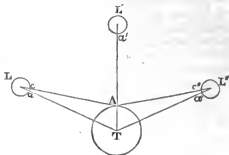



Fig. 291.

L'ampiezza totale della librazione in longitudine per una macchia situata al centro del disco lunare è di circa 4′ 20″, vale a dire circa $\frac{1}{7}$ del diametro apparente di questo disco; la librazione in latitudine per la stessa macchia ha un'ampiezza totale di circa 3′ 35″, e la librazione diurna soltanto di 32″. Dall'esistenza simultanea di queste tre librazioni deriva per ogni mac-

chia della luna un complicato moto d'oscillazione, che è quello che realmente si osserva.

220. La terra veduta dalla luna. — Curiosa è la ricerca dell'apparenza che presenterebbe la terra ad un osservatore che si trovasse collocato sulla superficie della luna. Conosciute le particolarità che presenta il moto della luna osservato dalla superficie della terra, possiamo facilmente risolvere una tale quistione,

Se non esistessero le librazioni in longitudine e in latitudine, il centro della terra si troverebbe sempre collocato alla stessa maniera rispetto ai diversi punti della superficie della luna. Da ciascuno di questi punti la terra apparirebbe dunque immobile nel cielo; essa sarebbe sempre al di sopra dell'orizzonte pei medesimi punti, e ad una medesima altezza per ciascuno di essi. Così sarebbe veduta costantemente allo zenit da chi si trovasse nel punto della superficie della luna che a noi apparisce al centro del suo disco; e apparirebbe più o meno vicina all'orizzonte secondo che il luogo d'osservazione fosse un punto della superficie della luna più o meno lontano da quello che noi vediamo al centro del suo disco. In oltre la terra non sarebbe visibile che dai punti dell'emisfero lunare che è rivolto dalla nostra parte, e rimarrebbe costantemente invisibile per tutti i punti dell'opposto emisfero.

Per l'esistenza delle librazioni in longitudine e in latitudine non accade così precisamente. Da ogni punto dell'emisfero lunare che è rivolto verso di noi la terra deve apparire oscillare da parte a parte intorno a certa media posizione: pei punti situati vicino ai lembi di quest'emisfero, la terra, per questa oscillazione, ora deve abbassarsi al di sotto dell'orizzonte, ora elevarsi al di sopra di questo piano; deve cioè alternativamente sorgere e tramontare, e le sue successive apparizioni e disparizioni, dovute alla coesistenza delle due librazioni in longitudine e in latitudine, debbono seguire una legge bastantemente complicata. Finalmente vi ha pure un gran numero di punti della superficie della luna da dove non vedesi giammai la terra; ma l'insieme di questi punti non costituisce un intiero emisfero, a motivo delle librazioni che alternativamente conducono la terra sull'orizzonte di punti donde senza di ciò giammai non sarebbe stata veduta.

La terra veduta dalla luna deve presentare la forma d'un disco press'a poco circolare, avente un diametro apparente di circa 2 gradi (205), e deve in oltre presentare delle fasi in tutto simili a quelle che a noi presenta la luna.

Essendo la luna animata d'un moto di rotazione sopra sè stessa, un osservatore posto alla sua superficie deve vedere l'insieme degli astri ruotare con opposta direzione intorno all'asse di rotazione della luna. La terra sola non partecipa a questo moto diurno, poichè da ogni punto della superficie lunare la si vede sempre press'a poco nella stessa posizione rapporto all'orizzonte; debbonsi dunque vedere le costellazioni passare dietro la terra le une dopo le altre. E siccome nella luna la durata del giorno sidereo è uguale alla durata della rotazione di quest'astro sopra sè stesso, e per conseguenza uguale à quella della sua rivoluzione siderea (210), così il giorno sidereo della luna contiene più di 27 dei nostri giorni medii.

Il sole veduto dalla luna partecipa al moto diurno di cui ora abbiamo parlato; ma esso ha pure nello stesso tempo un moto proprio frammezzo alle stelle, in virtù del quale la durata della sua rivoluzione diurna intorno alla luna non è la stessa che quella delle stelle. Questo moto diurno del sole dà origine per ogni punto a giorni e notti che succedonsi regolarmente; il giorno e la notte così diffusi sulle diverse parti del globo lunare ci sono resi sensibili dalle fasi che vi discerniamo. Apparendoci ogni punto della superficie lunare press'a poco immobile per rapporto al contorno del suo disco, egli è chiaro che il sole ha fatto un giro intiero intorno alla luna quando è compiuto un intiero periodo delle fasi lunari; così la durata del giorno solare sulla luna è uguale alla durata della rivoluzione sinodica di quest'astro, e comprende per conseguenza 29 e $\frac{1}{2}$ de' nostri giorni medii, de' quali circa la metà pel giorno e l'altra meta per la notte.

È facile il vedere che le fasi della terra vedute dalla luna sono complementarie delle fasi corrispondenti della luna vedute dalla terra (198). Quando la luna è nuova la terra è piena, e inversamente quando la luna è nel suo primo quarto la terra è nel suo ultimo quarto, quando ci apparisce soltanto un terzo del disco della luna sono visibili due terzi del disco della terra ad un osservatore collocato sulla luna, e così di seguito. Rimanendo la terra sempre al di sopra dell'orizzonte pei diversi punti della parte della superficie della luna che è rivolta verso di noi, vedesi che per tutti questi punti la terra deve illuminare la superficie della luna durante le notti. E se si considera specialmente il punto che noi vediamo al centro del disco lunare, si riconosce facilmente che per questo punto la terra è nel suo primo quarto al principio di ogni notte, e al suo ultimo quarto

alla fine: le notti debbono esservi adunque molto intensamente illuminate dalla terra (*).

(*) La terra veduta dalla luna deve apparire tutta sparsa di macchie. I continenti, le isole, i mari debbono presentarsi diversamente colorati ed illuminati per la diversa intensità della luce da essi riflessa. All'epoca del novilunio, ed al tempo del nostro mezzodì, debbono vedersi dalla luna l'Europa, l'Asia e l'Africa, vale a dire l'antico continente, siccome formanti una gran massa luminosa tutta circondata da ombre costituite dai mari; dopo 12 delle nostre ore lo spettacolo della terra deve essere totalmente cambiato, e dalla luna vedrassi il nuovo continente dell'America insieme alle molte isole del mare del sud. Nè qui deve limitarsi quanto dalla luna si può osservare sulla terra; giacchè, con un cannocchiale anche di debole ingrandimento, dovrebbersi distinguere sulla terra le macchie derivanti dalle nostre grandi città. Infatti vedendosi la terra dalla luna sotto un angolo di circa 2°, una città, quale Milano, che presenta una media larghezza di oltre 3000 metri, deve apparire sotto un angolo di circa 2″, che è circa l'angolo sotto il quale dalla terra si vede Nettuno (272). A cagione pertanto de'grandi cambiamenti che si producono dall'uomo sulla faccia della terra, si dovrebbero vedere dalla luna successive alterazioni nelle macchie terrestri.

La visibilità delle macchie terrestri dalla luna deve per altro essere continuamente modificata dall'interposizione della nostra atmosfera e dalle continue perturbazioni che in essa avvengono: in oltre l'esistenza de' venti alisei (139) deve far sì che la superficie del disco terrestre apparisca attraversata da fasce oscure parallele all'equatore, a somiglianza di quelle che noi vediamo in Giove e Saturno (269 e 270), sebbene con assai minore intensità di queste. Parimente debbono risultare visibili i grandi ammassi di neve che si formano, specialmente verso i poli, alle epoche che ad essi corrispondono gl'inverni, a somiglianza delle macchie variabili, probabilmente dipendenti dalle medesime cause, che noi vediamo formarsi verso i poli di Marte (268).

Converrà pure far cenno di una circostanza comunemente nota, e che risguarda il moto apparente della luna nel cielo, qual'è quella che durante i plenilunii la luna si eleva d'inverno sull'orizzonte ad un'altezza assai maggiore che non d'estate; che anzi ne' plenilunii jemali la luna apparisce quasi percorrere quelle regioni del cielo nelle quali trovasi il sole durante l'estate, e ne' plenilunii estivi, al contrario, quelle regioni del cielo che appariscono occupate dal sole durante l'inverno. Queste ultime circostanze avrebbero effettivamente luogo se la luna si muovesse precisamente nel piano dell'eclittica, giacchè essa ne' plenilunii si trova in opposizione col sole; in oltre all'epoca del solstizio d'inverno il piano dell'eclittica è sollevato di notte al di sopra dell'orizzonte della stessa quantità di cui è di giorno sollevato all'epoca del solstizio estivo; e viceversa questo piano all'epoca del solstizio estivo è di notte sollevato sul piano dell'orizzonte della stessa quantità di cui è di giorno sollevato all'epoca del solstizio jemale. Ma siccome il piano dell'orbita lunare è inclinato

221. Montagne della luna. — Basta osservare la luna con un cannocchiale anche di debole ingrandimento per riconoscere bentosto che la sua superficie presenta pronunciatissime asperità. La

Fig. 292.

figura 292, che rappresenta la luna veduta con un cannocchiale all'epoca del suo primo quarto, può fornire un'idea di ciò che

di circa 5° 9′ al piano dell'eclittica (207), così tanto le massime altezze meridiane jemali della luna quanto le minime sue altezze meridiane estive devono variare entro limiti uno maggiore e l'altro minore di 5° 9′ di quelle altezze che avrebbero luogo se la luna si muovesse precisamente nel piano dell'eclittica. Il sole per Milano, essendo la latitudine geografica di 45° 28′, raggiunge al solstizio estivo la massima altezza sull'orizzonte di 68° 0′, ed al solstizio jemale l'altezza minima di 21° 4′: pertanto la luna al solstizio jemale avrà un'altezza massima compresa tra 73° 9′ e 62° 51′, ed al solstizio estivo una minima altezza compresa tra 26° 13′ e 15° 55′; limiti che corrispondono a quelli di 28° 37′ e 18° 19′ entro cui può variare l'inclina-

si vede in simili circostanze. L'irregolarità del lembo rettilineo di questo semi-circolo illuminato mostra evidentemente la rugosità della superficie della luna; vi si veggono in oltre, fino a una certa distanza da questo lembo, delle asperità e delle cavità che, essendo obbliquamente rischiarate dal sole, producono ombre molto caratteristiche. Queste ombre, osservate per più giorni di seguito, aumentano o diminuiscono d'estensione e d'intensità secondo che l'obbliquità dei raggi solari sulla parte corrispondente della superficie della luna varia nell'uno o nell'altro verso. Devesi dunque considerare la luna come un globo solido coperto di montagne.

Per mezzo di opportune misure micrometriche si giunge facilmente a determinare l'altezza delle principali montagne della luna: cerchiamo di dare un'idea dei mezzi che si usano per arrivarvi.

Supponiamo per semplicità che la luna trovisi al suo primo quarto. Avviene sovente in questo caso che veggasi un punto brillante *a* (fig. 293) nella parte oscura della luna e a poca distanza del lembo rettilineo *m n* che limita la parte illuminata. Questo punto brillante è evidentemente il vertice d'una montagna, la cui parte inferiore è tutta nell'ombra, e che s'innalza abbastanza perchè vi giungano alcuni raggi solari che passano vicino alla luna senza incontrarla. Consideriamo un raggio *b c* in particolare che tocchi la superficie della luna in *c*, pervenendo al vertice *a* della montagna. Imaginato il piano passante per questo raggio e pel centro della luna, esso taglierà l'astro secondo un cerchio quale *p q r c'*; il raggio di luce di cui si tratta sarà una tangente *b' c'* alla periferia di questo circolo,

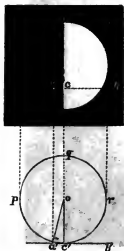
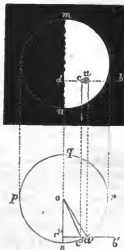



Fig. 293.

zione dell'orbita della luna sull'equatore (207). È dunque entro i limiti di 73° 9' e 15° 55' che deve variare per Milano l'altezza della luna al suo passaggio al meridiano. Il tempo nel quale le massime altezze lunari passano per tutti i valori compresi tra i limiti di 73° 9' e 62° 51', e le minime altezze passano per tutti i valori compresi tra 26° 13' e 15° 55' è uguale al tempo in cui si compie la retrogradazione dei nodi della luna (208): esse raggiungono questi limiti medesimi quando la linea dei nodi lunari coincide colla linea degli equinozii; mentre le massime e le minime altezze lunari risultano uguali alle massime e minime altezze solari quando la linea dei nodi della luna passa pei due solstizii.

e il vertice della montagna sarà situato in a' su questa tangente, ad una distanza dal punto di contatto c' uguale ad $a\,c$. Se per mezzo d'un micrometro a fili paralleli si misura la grandezza apparente della distanza $a\,c$, essendo $o\,c'$ il raggio della luna, si conosceranno i due lati $o\,c'$, $a'\,c'$ del triangolo rettangolo $o\,a'\,c'$; ed essendo questi due lati espressi in secondi, se ne dedurrà pure in secondi la grandezza della ipotenusa $o\,a'$, vale a dire la distanza del vertice della montagna dal centro della luna. Sottraendo il raggio $o\,c'$ dalla distanza $o\,a'$, il residuo sarà l'altezza del vertice della montagna al di sopra della superficie della luna; ed anche quest'altezza sarà rappresentata con un numero di secondi, il quale altro non esprimerà che l'angolo sotto cui la si vedrebbe di prospetto alla distanza alla quale trovasi da noi la luna: se ne dedurrà dunque facilmente il suo rapporto al raggio della terra, e per conseguenza il suo valore in metri. È facile il vedere che con questo metodo si avrà generalmente un valore troppo piccolo per l'altezza della montagna osservata; mentre, perchè il vertice della montagna venga tanto illuminato da poter essere veduto dalla terra, è d'uopo non solo che esso arrivi alla regione dello spazio ove penetrano i raggi solari che la luna lascia passare, ma ancora ch'esso si elevi in questa regione d'una certa quantità.

Fig. 294.

Havvi un altro metodo basato sulla misura dell'ombra che projettano le montagne sulla superficie della luna dalla parte opposta a quella del sole; ed ecco in che consiste. Supponiamo ancora che la luna trovisi al suo primo quarto. Una montagna a (fig. 294) projetti un'ombra $a\,c$; il raggio solare $b\,a$, che passa vicinissimo al vertice della montagna, dovrà dunque incontrare la superficie della luna in c; e imaginando ancora il piano passante per questo raggio e pel centro della luna, questo piano taglierà la superficie della luna secondo una periferia di cerchio quale $p\,q\,r\,s$, e il raggio solare diretto secondo $b'\,c'$ incontrerà questa periferia in c'. Misurando la distanza $c\,d$, che è uguale a $c'\,d'$, si conosceranno i due lati $o\,c'$, $c'\,d'$ del triangolo rettangolo $d'\,o\,c'$, e se ne dedurrà l'angolo $o\,c'\,d'$; sarà quindi conosciuto anche l'angolo $o\,c'\,a'$, che

è il supplemento dell'angolo *o c' d'*. Si potrà in oltre misurare la lunghezza *a c* dell'ombra, lunghezza che è uguale ad *a' c'*; e nel triangolo *o a' c'* si conosceranno adunque l'angolo *o c' a'* ed i suoi due lati adjacenti, donde si dedurrà il lato *o a'*. Sottraendo il raggio *o c'* da questa distanza *o a'* del vertice della montagna dal centro della luna, si troverà l'altezza del vertice della montagna al di sopra della superficie della luna.

Per far comprendere in che consista ognuno di questi due metodi abbiamo supposto che la luna fosse nel suo primo quarto: è facile per altro il vedere che per mezzo di opportune modificazioni ambedue i metodi possono servire alla determinazione dell'altezza delle montagne della luna anche quando l'astro non si trovi precisamente in questa fase particolare. Ma noi non entreremo in maggiori particolari su questo punto, essendo nostro unico scopo di mostrare la possibilità di misurare l'altezza delle montagne della luna con un certo grado d'esattezza.

I signori Beer e Mädler di Berlino, dopo avere eseguito moltissime misurazioni nelle diverse parti dell'emisfero lunare che è rivolto verso la terra, trovarono 22 montagne la cui altezza sorpassa 4800 metri (altezza del Monte Bianco). Ecco quelle aventi una maggiore altezza; esse sono designate coi nomi stati loro attribuiti dal Riccioli e generalmente adottati:

Dörfel.	7406
Newton.	7264
Casatus.	6956
Curtius.	6769
Calippus.	6216
Tycho.	6151
Huyghens.	5550 (*).

(*) La più alta sommità dell'Himalaya, e sinora di tutta la terra, è il Kinchinjinga, il quale, secondo le recenti misurazioni di Waugh, raggiunge 8587 metri di altezza, mentre, come sopra si vede, la più alta sommità delle montagne lunari arriva, secondo Mädler, a 7406 metri. Siccome il raggio lunare è di chilometri 1735, mentre quello della terra è di chilometri 6367 (205), così deriva che la massima altezza delle montagne lunari è $\frac{1}{234}$ del raggio della luna, laddove la massima altezza delle montagne terrestri è soltanto $\frac{1}{741}$ del raggio della terra. Vedesi pertanto come, relativamente alle grandezze di questi due globi, le asperità della superficie della luna siano assai maggiori di quelle della superficie della terra. Galileo, usando pur esso il primo dei metodi sopra enunciati nella determinazione delle altezze delle montagne lunari, ebbe a dichiarare, raggiungere queste altezze *in circa miglia quattro*, che corrispondono ap-

Gli stessi astronomi costruirono una bella carta della luna, della quale è qui dato un estratto (tav. III). Le diverse particolarità che presenta la superficie della luna vi sono rappresentate col sistema della projezione ortografica (112); il qual sistema è poco conveniente per rappresentare un emisfero della terra, poichè le regioni situate verso i lembi dell'emisfero ci riescono troppo sformate, ed è per contrario quello che meglio conviene per la luna, poichè per esso le diverse parti della superficie di quest'astro vengono ad avere la precisa disposizione secondo la quale ci si presentano; essendochè i raggi visuali che congiungono il nostr'occhio coi diversi punti della superficie della luna sono sensibilmente tra essi paralleli e perpendicolari al piano del circolo massimo che serve di limite all'emisfero rivolto verso di noi.

222. Nozioni sulla costituzione della luna. — Quando ci siamo occupati nello studio delle particolarità che presenta la superficie del sole, abbiamo riconosciuto che tutto quanto si vede su questa superficie è eminentemente variabile. Le macchie ivi osservate a una cert'epoca vi persistono per qualche tempo, e col loro moto comune possono rendere sensibile la rotazione del sole sopra sè stesso; ma queste macchie si sformano poco a poco e finiscono col disparire, mentre altre si producono in regioni ove dapprima non ne esistevano. Alla superficie della luna tutto succede altrimenti, giacchè tutto vi apparisce immutabile. Qualunque sia l'epoca in cui si osserva questa superficie, sempre vi si ravvisa lo stesso aspetto, e non havvi differenza che nelle ombre projettate dalle asperità che la ricoprono, secondo la diversa maniera colla quale il sole le illumina.

Queste asperità, o montagne della luna, delle quali molte raggiungono una grande altezza (221), presentano un carattere particolare e notevolissimo, giacchè quasi tutte affettano la forma d'un rigonfiamento circolare in mezzo al quale esiste una cavità il cui fondo è talvolta al di sotto del livello delle parti della su-

punto a circa 7400 metri; per cui, avuto riguardo alle cognizioni ipsometriche che allora si avevano, poteva considerare le montagne lunari come assolutamente più alte delle montagne terrestri.

È però d'uopo notare, che mancando sulla luna una superficie generale di livello, come è per noi quella del mare, avente tutte le sue parti equidistanti dal centro del globo terrestre, le altitudini assolute della luna non sono rigorosamente tra loro paragonabili; per cui i numeri che le rappresentano non indicano che le differenze di elevazione tra le sommità e le pianure, o meglio le depressioni che ad esse trovansi più vicine.

perficie della luna che la circondano. La fig. 295 può dare un'idea di questa forma generale delle montagne della luna. Spesso,

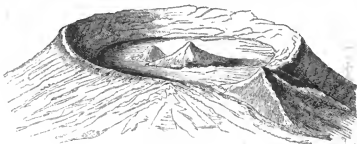



Fig. 295.

come vedesi in questa figura, nel mezzo alla cavità centrale esiste una montagna isolata in forma di picco, e basta gettare uno sguardo sulla carta qui annessa (tav. III) per vedere quanto siano numerose le montagne di questa forma; che se esse sembrano ellittiche verso i lembi della carta, ciò deriva dal sistema di projezione adottato nella sua costruzione, il quale rappresenta in iscorcio le montagne situate vicino al contorno dell'emisfero rivolto verso di noi.

Si può formarsi un'idea abbastanza netta di queste montagne circolari della luna paragonandole ai crateri dei vulcani estinti che esistono sulla superficie della terra. V'ha per altro tra i vulcani della terra e le montagne della luna una differenza essenziale, ed è che quest'ultime hanno dimensioni trasversali incomparabilmente più grandi di quelle dei vulcani; e sarebbe difficile l'ammettere che crateri d'eruzione abbiano potuto raggiungere diametri tanto considerevoli. Si riguardano pertanto meglio queste montagne della luna come analoghe a certi circhi montagnosi che s'incontrano sulla terra, chiamati in geologia crateri di sollevamento. Fra le più grandi montagne circolari della luna si possono citare Tycho ed Archimede, che hanno la prima 91 200 metri, e la seconda 87 500 metri di diametro; a partire da queste se ne trovano per così dire di tutte le dimensioni, fino a quelle troppo piccole per poter essere facilmente distinte coi cannocchiali. Quali termini di confronto presi sulla terra possiamo citare il circo dell'isola di Ceylan, il cui diametro è di 70 000 metri, il circo dell'Oisans (Delfinato in Francia), il cui diametro è di 20 000 metri, e il circo di Cantal (Alvergna, pure in Francia), il cui diametro è di 10 000 metri.

Quanto ai vulcani terrestri, i loro diametri sono molto minori: quello dell'Etna al suo massimo fu di 1500 metri; quello del Vesuvio non ha mai raggiunto più di 700 metri; quello di Puy de Pariou (vulcano estinto dell'Alvergna) è soltanto di 310 metri.

Le macchie grigiastre che distinguonsi ad occhio nudo sul disco della luna altro non sono che parti della superficie dell'astro che riflettono i raggi solari meno bene delle regioni che le circondano. Si nota che queste parti meno brillanti non contengono quasi affatto montagne. Hevelio le aveva chiamate mari; ma vedremo che questo nome, che venne conservato loro fino al presente, si appoggia ad un'idea falsa, non potendo esistere acqua alla superficie della luna.

223. È naturale il domandarsi se la luna sia circondata d'atmosfera gasosa come la terra; la qual questione può essere pienamente risolta per mezzo di diverse osservazioni semplicissime, come stiamo per vedere.

E possiamo al bel principio affermare che se esiste un'atmosfera intorno alla luna, essa non contiene per certo delle nubi, come quella in mezzo alla quale noi viviamo; poichè queste nubi ci nasconderebbero necessariamente certe porzioni della superficie dell'astro, per cui il suo aspetto generale varierebbe da un istante all'altro, secondo che le nubi fossero più o meno numerose, o coprissero una o altra parte del disco; e noi sappiamo per contrario che il disco lunare ci si presenta sempre collo stesso aspetto, e che nulla mai c'impedisce di poter discernere le asperità esistenti nelle diverse parti della superficie dell'astro, quando sono direttamente illuminate dai raggi del sole.

Così noi sappiamo già che l'atmosfera della luna, se esiste, si mantiene sempre perfettamente trasparente; ma possiamo spingerci più avanti. Un'atmosfera trasparente deve produrre sulla superficie della luna un fenomeno analogo al nostro crepuscolo (136). Una metà della luna ricevendo direttamente la luce del sole a un istante dato, i raggi solari devono essere rimandati dall'atmosfera della luna in una porzione dell'altra metà, per modo da spandervi un certo chiarore decrescente per gradi a partire dai lembi dell'emisfero direttamente illuminato. La luna veduta dalla terra dovrebbe dunque presentare una parte brillante e una parte oscura, senza però che vi sia un passaggio repentino dall'una all'altra; che anzi per una certa larghezza dovrebbe esistere un'insensibile degradazione di luce dalla parte che è rivolta verso il sole fino a quella che, essendo rivolta dal lato opposto, è per noi affatto invisibile. Ora, nulla v'ha di tutto ciò;

la parte illuminata e la parte oscura della luna sono l'una dall'altra separate da una linea nettissima e assai bene terminata, la quale è più o meno sinuosa e irregolare a cagione delle asperità della superficie della luna; ma non presenta traccia alcuna di questa degradazione di luce che sarebbe conseguenza necessaria dell'esistenza d'un'atmosfera intorno alla luna. Vedesi adunque doversi ammettere di necessità che la luna non ha atmosfera, o almeno che, se ne ha una, essa è debolissima, poichè il crepuscolo cui dà luogo ci riesce affatto insensibile.

Ma v'ha un altro mezzo più preciso, mediante il quale è pienamente messa fuor di dubbio la mancanza dell'atmosfera intorno alla luna; ed ecco in che consiste. Quando la luna, in virtù del suo moto proprio sulla sfera celeste, passa davanti ad una stella, si può osservare con grandissima esattezza l'istante preciso della disparizione della stella, come pure l'istante preciso della sua riapparizione; e da ciò si deduce la durata dell'occultazione della stella. D'altra parte, conoscendo le leggi del moto della luna e conoscendone il diametro, si può esattamente determinare col calcolo la corda del disco lunare, i cui punti si trovano tutti nella direzione medesima della stella; e confrontando la lunghezza della corda così ottenuta colla velocità della luna sulla sfera celeste al momento dell'occultazione, se ne può dedurre il tempo impiegato dalla luna ad avanzarsi nel cielo d'una quantità uguale a questa corda. Ora trovasi sempre che questo tempo è uguale alla durata dell'occultazione quale è somministrata dall'osservazione, o almeno la differenza che esiste tra questi due tempi è sempre tanto piccola da potersi riguardare come derivante unicamente dagli errori di osservazione. Per poco che vi si rifletta si vedrà che il tempo impiegato dalla luna a percorrere sulla sfera celeste un cammino uguale a quella corda del suo disco che passa davanti alla stella dev'essere infatti l'esatta durata dell'occultazione, supponendo che i raggi della luce provenienti dalla stella non subiscano deviazione alcuna al loro passaggio vicino alla superficie della luna. Ma per poco che questi raggi di luce vengano deviati dal loro cammino in vicinanza della luna, deve accadere diversamente, ed è ciò che avrebbe luogo infatti se la luna fosse circondata da una atmosfera. Invece di cominciare l'occultazione all'istante preciso in cui la luna tocca il raggio che dalla stella E (fig. 296) arriva all'occhio O dell'osservatore, la stella rimarrebbe ancora visibile qualche tempo dopo, poichè i raggi quali E *m* verrebbero piegati dall'atmosfera lunare per modo da poter giun-

gere ancora all'occhio malgrado la reale interposizione del corpo della luna fra l'occhio e la stella; e per la stessa ragione la stella ricomparirebbe dal lato opposto del disco lunare qualche tempo prima che sia compiutamente cessata questa interposizione della luna: la durata dell'occultazione sarebbe dunque necessariamente diminuita dalla rifrazione dei raggi luminosi prodotta dall'atmosfera della luna. L'uguaglianza tra i due valori della durata dell' occultazione, trovati l'uno col calcolo fondato sulle leggi del moto della luna, l'altro dalla diretta osservazione del fenomeno, provano adunque che i raggi luminosi che ci provengono da una stella, toccando la superficie della luna, non subiscono alcuna sensibile deviazione. Si potè con ciò riconoscere che l'atmosfera della luna, se pure esiste, è necessariamente meno densa, alla superficie stessa dell'astro, dell'aria che rimane nel recipiente delle nostre migliori macchine pneumatiche quando vi si produce il maggior vuoto possibile, il che torna lo stesso che dire che la luna non ha atmosfera.

E E

m L

O

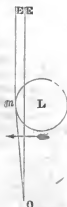



Fig. 296.

Un'immediata conseguenza di questa mancanza d'atmosfera intorno alla luna è che quest'astro non può essere abitato da esseri animati, o almeno da esseri analoghi a quelli che esistono sulla terra. Un'altra conseguenza importante, e che risguarda la costituzione fisica della luna, è che non può esservi acqua alla sua superficie; poichè se ve ne fosse produrrebbe vapori che immediatamente costituirebbero un'atmosfera. A torto adunque Hevelio chiamò mari le regioni della superficie lunare che ci appariscono sotto forma di macchie grigiastre.

La superficie della luna pertanto deve da per tutto presentare una natura morta senza vegetazione alcuna. La temperatura v'è probabilmente bassissima; ed a cagione della mancanza d'acqua e d'atmosfera, la configurazione esteriore del globo lunare dovette conservarsi qual era al momento in cui questo globo si è solidificato; il che spiega perchè vi si vegga un sì gran numero di circhi, mentre sono rari sulla terra ove le acque e gli agenti atmosferici, abbassando continuamente le asperità del suolo, produssero depositi sedimentarii che ricoprono e mascherano quasi compiutamente la superficie primitiva del globo.

224. Moto della luna nello spazio. — Fin qui abbiamo studiato il moto della luna quale lo veggiamo dalla terra, senza tener conto del muoversi che fa anche la terra intorno al sole. È

evidente pertanto che il moto della luna, quale l'abbiamo trovato, è affatto diverso da quello che in essa vedremmo se, invece d'osservarla dalla superficie della terra, noi fossimo immobili in un luogo qualunque dello spazio, come per esempio al centro del sole. Il moto della luna intorno alla terra, di cui precedentemente abbiamo indicato le principali circostanze, non è che un moto relativo. Così mentre la luna ruota intorno alla terra, questa la trasporta seco nell'annuo suo moto intorno al sole; e possiamo formarci un'idea abbastanza netta dell'esistenza simultanea di questi due moti, paragonando la luna e la terra a due persone danzanti insieme e che girino l'una intorno all'altra, mentre si muovono facendo il giro d'una sala.

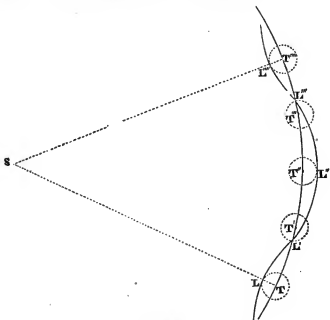



Fig. 297.

Il moto reale della luna nello spazio risulta dalla combinazione dei due moti di cui si tratta. Studiando attentamente le diverse circostanze che deve presentare questo moto assoluto della luna, si riconosce ch'essa descrive nello spazio una linea sinuosa quale L L' L'' L''' L'''' (fig. 297), mentre la terra percorre la sua orbita ellittica T T' T'' T''' T'''' intorno al sole S.

Vedesi infatti che essendo la luna in L quando la terra è in T, in L' quando la terra è in T', e così di seguito, un osservatore posto sulla terra deve vedere quest'astro successivamente nella stessa direzione come se, essendo immobile la terra, la luna ruotasse intorno ad essa. L'intervallo di tempo compreso tra due ritorni successivi della luna in posizioni quali L ed L'''', nelle quali essa trovasi nella direzione medesima del sole, forma ciò che abbiamo chiamato una lunazione (211); e siccome la durata d'una lunazione è contenuta un po' più di dodici volte in un anno, così ne segue che la curva sinuosa descritta dalla luna nello spazio presenta lungo l'orbita T T' T'' della terra poco più di dodici intiere sinuosità quali L L' L'' L''' L''''. Le diverse parti di queste sinuosità sono per altro molto più vicine all'orbita della terra che non lo indichi la figura, poichè la distanza L T, L' T', L'' T'', . . . della luna dalla terra non è che la 400ª parte della distanza S T della terra dal sole (202); e non fu che per rendere più sensibile la forma di questa linea sinuosa che qui venne costruita esagerando la distanza della luna dalla terra relativamente a quella della terra dal sole.

225. Periodi astronomici dedotti dai moti del sole e della luna. — Il confronto di certi numeri relativi ai moti del sole e della luna portò gli astronomi alla scoperta di alcuni periodi che rappresentarono una gran parte nella storia dell'astronomia, e che anche ai nostri tempi persentano una qualche utilità. Eccone i più importanti.

Se i nodi dell'orbita della luna non fossero animati del moto retrogrado di cui abbiamo parlato (208), l'intervallo di tempo compreso tra due successive coincidenze del sole con uno dei suoi nodi sarebbe precisamente l'anno sidereo (187). Ma, a cagione del moto retrogrado dei nodi, quest'intervallo di tempo è più breve; il suo valore è di giorni 346,619, che dicesi la *rivoluzione sinodica dei nodi della luna:* prendendo 19 volte questa durata, si trova giorni 6585,76. D'altra parte, dalla durata assegnata ad una lunazione (211) trovasi che 223 lunazioni fanno giorni 6585,32; così 19 rivoluzioni sinodiche dei nodi della luna fanno press'a poco 223 lunazioni. Questo periodo, che comprende circa 18 anni e 11 giorni, servì molto e serve ancora alla predizione degli ecclissi, come vedremo fra poco: esso era conosciuto dai Caldei sotto il nome di *Saros.*

Trovasi facilmente che 235 lunazioni fanno giorni 6939,69, e che 19 anni tropici (187) fanno giorni 6939,60: da ciò risulta che 19 anni tropici fanno assai prossimamente 235 lunazioni. Me-

diante questo periodo, chiamato *ciclo lunare* o *ciclo di Metone* (dal nome del suo scopritore), bastava avere osservato e notato le date dei plenilunii e dei novilunii per 19 anni, per poterli in seguito predire indefinitamente; giacchè è chiaro che, considerando dei periodi successivi di 19 anni, in ognuno di essi queste date debbono riprodursi esattamente nella stessa maniera che negli altri. Preso arbitrariamente un primo periodo di 19 anni, tutti gli anni che lo susseguono furono ripartiti in periodi della stessa durata, succedentisi senza interruzione; e i diversi anni d'uno stesso periodo furono in oltre distinti gli uni dagli altri coi numeri progressivi dall'1 al 19. Dicesi *numero d'oro* il numero che porta un anno qualunque in uno dei periodi di cui si tratta: questa denominazione deriva da ciò che i Greci, i quali attaccarono una grande importanza al ciclo di Metone per fissare le loro feste, aveano deciso che la scoperta di quest'astronomo fosse scritta in lettere d'oro sui loro pubblici monumenti. Nel 1855 il numero d'oro è 13, il che vuol dire che l'anno 1855 è il 13.° in uno di quei periodi di 19 anni di cui abbiamo parlato (*).

(*) Il ritorno dei novilunii e dei plenilunii alle medesime date per due anni contrassegnati dallo stesso numero d'oro avrebbe luogo quasi esattamente, con un divario cioè non maggiore di due ore, se le durate delle diverse lunazioni fossero tra loro perfettamente uguali, vale a dire se i moti della luna e della terra fossero equabili; ma per l'ineguaglianza di questi moti, anche le durate delle diverse lunazioni sono soggette ad alterazioni, per cui deriva che i tempi in cui avvengono, per esempio, due novilunii, che pur dovrebbero quasi esattamente corrispondersi, possano differire di parecchie ore e quindi anche passare da un giorno all'altro.

Il ciclo corrente ebbe principio nel 1843; il 1842 fu dunque l'ultimo del ciclo antecedente; e siccome dividendo 1842 per 19 si ottiene 96 per quoziente e 18 per residuo, così è chiaro che dal principio dell'Era cristiana alla fine dell'anno 1842 sono trascorsi 96 cicli e 18 anni; e volendosi che col 1842 si fosse compiuto il 97.° ciclo, questo doveva avere avuto il suo principio nell'anno antecedente all'Era cristiana, il qual anno si può prendere per epoca da cui cominciare a contare i diversi cicli. Da ciò deriva anche una regola facile colla quale trovare il numero d'oro per un anno qualunque passato o futuro dell'Era cristiana: si aumenti dell'unità il numero dell'anno, il risultato si divida per 19, ed il residuo esprimerà il richiesto numero d'oro: che se il residuo fosse *zero*, il numero d'oro sarebbe 19, ossia l'ultimo del ciclo. Così, aumentato 1855 di uno si ha 1856, il qual numero diviso per 19 dà per quoziente 97 e per residuo 13; adunque 13 è il numero d'oro dell'anno 1855.

Il ciclo lunare però non venne mai messo in corrispondenza cogli anni tropici, come ha fatto il signor Delaunay, sibbene cogli anni giuliani, per cui si dice essere questo ciclo un periodo di 19 anni giuliani; e sarebbe stato utile in ogni epoca se effettivamente 235 medie lunazioni cor-

Un anno comune di 365 giorni contiene 52 settimane ed un giorno; da ciò risulta che da un anno all'altro i giorni della stessa

rispondessero ad un tal numero di anni giuliani. Ma laddovo le prime equivalgono a giorni 6939 16^{ore} 32′ 32″, i secondi invece ammontano a giorni 6939 18^{ore} 0′ 0″, per cui 235 medie lunazioni sono in difetto di circa 1^{ora} 27′ nel periodo di 19 anni giuliani; dal che deriva che in anni 312,8 un novilunio anticiperebbe d'un giorno, ed anticiperebbe di 8 giorni in 2500 anni con un minimo errore del quale non si tiene conto. Egli è perciò che, mentre prima della riforma gregoriana il numero d'oro serviva al computo della luna pasquale, dall'epoca di questa riforma venne abbandonato, ricorrendosi per questo calcolo alle epatte, le quali conservano col numero d'oro una corrispondenza ordinale.

Fu già veduto essere l'*epatta* un numero che rimane lo stesso per tutto il corso d'un anno, e che esprime l'età della luna al 31 dicembre dell'anno antecedente (212): l'epatta d'ordinario si scrive con numeri romani, ed invece di 30 si scrive 0. Il vocabolo *epatta* deriva dal greco, e significa *aggiunta;* essa è quel tempo che manca all'anno lunare onde uguagliare l'anno solare. Per *anno lunare* non s'intende però una rivoluzione sinodica o tropica della luna intorno alla terra, sibbene un periodo di dodici rivoluzioni sinodiche della luna, cioè di dodici ritorni al novilunio, o di dodici lunazioni, che sono tante lunazioni quante si contengono in un anno solare. E siccomo una lunazione abbraccia presso a poco giorni 29 $\frac{1}{2}$ (211), così l'anno lunare viene a comprendere 354 giorni, vale a dire è di undici giorni più breve dell'anno solare comune, e di 12 giorni dell'anno bisestile. Ciò premesso, vediamo quali artificii vennero proposti dal dottor Lilio, medico napolitano, ed adottati all'epoca della riforma gregoriana, onde accordare gli anni lunari coi solari, e correggere il difetto proveniente dalla non esatta corrispondenza fra 235 medie lunazioni e 19 anni giuliani.

I dodici mesi lunari costituenti l'anno lunare vennero formati d'un numero esatto di giorni; e per discostarsi il meno possibile dalla durata d'una lunazione, vennero formati alternatamente di 29 e 30 giorni. Tutte queste lunazioni nel corso di 19 anni giuliani formerebbero 228 lunazioni; in questo intervallo fa dunque mestieri intercalare 7 altre lunazioni, che chiamansi *embolismiche,* sei delle quali si formano di giorni 30 e l'ultima di 29; essendo poi necessario intercalare generalmente altri 5 giorni, giacchè d'ordinario nei 19 anni ne sono compresi 5 bisestili. Per tal modo si compiono giorni 6940, cioè tanti quanti sono quelli compresi in 19 anni giuliani, supposto che 5 di essi sieno bisestili, come più chiaramente si vede dal seguente computo:

228 lunazioni alternatamente di 29 e 30 giorni fanno giorni	6726
6 lunazioni embolismiche di 30 giorni	180
1 lunazione embolismica di 29 giorni	29
giorni intercalati	5
In tutto giorni	6940.

data non occupano lo stesso posto nella settimana a cui appartengono. Così il 1.° gennajo 1850 essendo stato un martedì, il

Vediamo ora per quai ragione sei delle lunazioni emboiismiche debbono essere di 30 giorni ed una di 29 giorni. Formando le dodici lunazioni dell'anno lunare alternatamente di giorni 29 e 30, si viene a supporre la media lunazione di giorni 29 $\frac{1}{2}$ esattamente, mentre il preciso intervallo medio tra due successivi novilunii è di giorni 29 12^{ore} 44′ 3″, per cui la media lunazione assunta è minore della giusta di 44′ 3″. Questa ommissione, ripetuta dodici volte, diventa di 8^{ore} 48′ 36″ al termine di un anno lunare, ed in 19 anni lunari viene ad ammontare a giorni 6 23^{ore} 23′ circa. Nelle sei lune emboiismiche di 30 giorni si dà a ciascuna una durata di 11^{ore} 16′ maggiore di quanto dovrebb'essere; e questa quantità, ripetuta sei volte, produce giorni 2 19^{ore} 36′: si tolgano da questo risultato 12^{ore} 44′, che si danno di meno all'ultima lunazione emboiismica di 29 giorni, e rimarrà un eccesso di giorni 2 6^{ore} 52″. Rimane finalmente di tener conto dei giorni intercalati a cagione degli anni bisestili. Possono a questo riguardo aver luogo quattro casi in un periodo di 19 anni; può essere cioè bisestile il primo, o il secondo, o il terzo, o il quarto anno del periodo: nei primi tre casi in tutto il periodo sono contenuti cinque anni bisestili, nel quarto caso ne sono contenuti soltanto quattro, ed è chiaro che in quattro successivi periodi debbono verificarsi tutti e quattro questi casi. Ritenendo che in un ciclo vengano aggiunti, come più frequentemente accade, giorni 5 a cagione degli anni bisestili, l'eccesso totale dipendente dalle lunazioni emboiismiche e dai giorni intercalati a cagione degli anni bisestili ammonterà in tutto a giorni 7 6^{ore} 52′, che ricompensa quasi perfettamente il difetto trovato più sopra di giorni 6 23^{ore} 23′. La differenza di 7^{ore} 29′, che risulta pure dal confronto fra la durata sopra veduta di 235 medie lunazioni in giorni 6939 16^{ore} 32′ e giorni 6940, in gran parte è compensata dal difetto di 1^{ora} 27′, che abbiamo già accennato, fra la durata di 235 medie lunazioni e 19 anni giuliani, e più ancora dall'essere talvolta non cinque, ma soiamente quattro gli anni bisestili nel corso del ciclo. Queste disuguaglianze si aggiustano correggendo l'epatta di un'unità nel principio del secolo quando ciò faccia mestieri: fino al 1900 una tale correzione non occorrerà.

Abbiamo veduto che essendo l'anno lunare di soli 354 giorni, esso differisce di 11 giorni dall'anno solare comune: quando l'anno è bisestile si aumenta di un giorno la lunazione corrispondente al mese di febbrajo; e per questa maniera d'intercalazione di un giorno nell'anno lunare quando il corrispondente anno solare è bisestile, si mantiene costante la differenza di 11 giorni fra i due anni lunare e solare. È facile quindi il comprendere che se per un dato anno il novilunio cadesse il 1.° gennajo, per cui l'epatta fosse *zero*, e che quest'anno si prendesse pel primo di un ciclo, l'epatta dell'anno seguente sarebbe XI; giacchè col 354.° giorno del detto anno, cioè col 20 dicembre avrebbe fine la dodicesima lunazione; al 21 dicembre cadrebbe quindi il decimoterzo novilunio, e al 31 dicembre la luna avrebbe undici giorni di età. Per la stessa ragione

1.° gennajo 1851 fu un mercoledì e il 1.° gennajo 1852 un giovedì. Se tutti gli anni fossero di 365 giorni accadrebbe che in capo

l'epatta del terzo anno diverrebbe XXII, e così, aumentando sempre di undici l'epatta di un anno, si otterrebbe l'epatta dell'anno successivo, salvo a diminuirla opportunamente quando da una lunazione si passa all'altra. È appunto nella legge che si segue in queste diminuzioni dell'epatta che consiste la regola d'intercalazione delle lunazioni in un ciclo lunare. Fu stabilito di sottrarre sempre 30 dall'epatta determinata nel modo ora detto tutte le volte che ciò riesca possibile, il che è quanto dire che le ultime lunazioni degli anni antecedenti a quelli sulle cui epatte si opera una tale diminuzione debbono essere sempre di 30 giorni; e siccome tali sottrazioni accadono soltanto sei volte nel periodo di 19 anni, così queste lunazioni vengono ad essere quelle intercalate di 30 giorni. Nella fatta ipotesi alla fine del ciclo, cioè per l'anno primo del ciclo seguente, si trova per epatta XXIX; ma siccome venne pure stabilito che l'ultima lunazione del ciclo, la quale è l'ultima intercalata, debba essere di 29 giorni, così al principio del nuovo ciclo si trova nuovamente, come dev'essere, l'epatta *zero*. Dodici anni pertanto di un ciclo vengono a contenere dodici lunazioni per ciascuno; gli altri sette ne contengono tredici, e sono quelli cui corrispondono i numeri d'oro 3, 6, 9, 11, 14, 17, 19. Attualmente i cicli cominciano, appunto come venne supposto, quando l'epatta è *zero*, cioè quando il novilunio cade al 1.° gennajo.

La seguente tavoletta presenta l'ordine delle epatte che seguita a correre per tutto il secolo attuale, coi corrispondenti numeri d'oro e i numeri delle lunazioni trascorse dal principio del ciclo al principio di ogni anno successivo.

NUMERO d'oro.	EPATTA	LUNAZIONI trascorse dal principio del ciclo.	NUMERO d'oro.	EPATTA	LUNAZIONI trascorse dal principio del ciclo.
1	0	0	11	XX	123
2	XI	12	12	I	136
3	XXII	24	13	XII	148
4	III	37	14	XXIII	160
5	XIV	49	15	IV	173
6	XXV	61	16	XV	185
7	VI	74	17	XXVI	197
8	XVII	86	18	VII	210
9	XXVIII	98	19	XVIII	222
10	IX	111	1	0	235

Riesce pertanto assai facile il determinare l'epatta di un anno quando se ne conosca il numero d'oro. Basta perciò diminuire il numero d'oro

a 7 anni i giorni della stessa data riprenderebbero tutti nella settimana lo stesso posto che al principio. Ma l'intercalazione degli

di un'unità, moltiplicare quindi il residuo per 11, e dividere il prodotto per 30; il residuo di tal divisione è l'epatta. Così essendo 13 il numero d'oro dell'anno 1855, diminuito di uno si ha 12, che moltiplicato per 11 dà per prodotto 132, e diviso questo prodotto per 30, si ottiene il quoziente 4 ed il residuo 12; dunque l'epatta dell'anno 1855 è XII. Per comprendere la ragione di questo computo si rifletta che nel presente secolo, come abbiamo detto, l'epatta è *zero* quando il numero d'oro è 1; è perciò che nel computo si diminuisce di uno il numero d'oro. Siccome poi, a misura che il numero d'oro aumenta di 1, l'epatta cresce di 11, quindi viene la regola del moltiplicare per 11. Finalmente la divisione per 30 non è altro che sottrarre 30 dalle epatte quante volte si può. Questa regola però vale soltanto per l'attuale corrispondenza tra l'epatta e il numero d'oro; ma è facile dedurne le modificazioni opportune per altri cicli.

Possiamo ora vedere come per mezzo delle epatte si trovino i giorni dei novilunii secondo il computo ecclesiastico. A tal fine si noti che la lunazione che corre al principio dell'anno fu stabilito che debba essere sempre di 30 giorni e che debba essere di 29 la prima lunazione completa dell'anno, eccetto i casi che l'epatta sia *zero* o maggiore di XXIV, ne' quali la prima lunazione dev'essere di 30 giorni: sempre poi le successive lunazioni procedono alternatamente di 29 e 30 giorni. Ciò posto, se si toglie da 30 l'epatta e si aumenta di 1 il residuo, si ottiene evidentemente il giorno del primo novilunio dell'anno, mentre sappiamo che se l'epatta è *zero*, il primo novilunio dell'anno cade al giorno primo di gennajo. Anche qui è facile il vedere le modificazioni per altri cicli.

Trovato che sia il giorno del primo novilunio, si ottengono i giorni dei novilunii successivi aggiungendovi alternatamente 29 e 30, incominciando sempre con 29, eccettuato il caso degli anni in cui l'epatta è *zero* o maggiore di XXIV ne'quali anni è d'uopo cominciare con 30. Con un tale ingegnoso artificio si viene a conseguire ciò che si ebbe di mira nel Concilio Niceno di conservare cioè, per quanto fosse possibile, l'uso antico della Chiesa che la lunazione pasquale sia di giorni 29, come infatti succede sempre, salvo che nel solo caso in cui l'epatta è XXIV. È necessario per altro di ricordarsi di accrescere un giorno alla lunazione di febbrajo negli anni bisestili, o ciò che torna lo stesso, considerare in questo computo il mese di febbrajo come costituito sempre di 28 giorni.

Applichiamo questa regola alla ricerca dei giorni dei novilunii medii per l'anno 1855. Essendo XII l'epatta di quest'anno, togliendo 12 da 30 si ha 18 che aumentato di 1 dà 19, per cui al 19 gennajo cade il primo novilunio. Essendo l'epatta minore di XXIV, andranno a questo giorno aggiunti successivamente 29 e 30. Aggiungendo 29 a 19 si ha 48, da cui sottratto 31, numero dei giorni contenuti nel mese di gennajo, si ha poi secondo novilunio il giorno 17 febbrajo; aggiungendo 30 a 17, e dalla

anni bisestili altera questo risultato, per cui ciò accade ora in capo a 6 anni ora a 5, secondo che in questo intervallo di tempo

somma 47 levando 28, si trova che il terzo novilunio cade al 19 marzo. Seguitando in tal guisa, si ottengono i giorni in cui cadono tutti gli altri novilunii, quali veggonsi raccolti nella prima colonna della seguente tavoletta.

NOVILUNII medii.	NOVILUNII veri.	NOVILUNII medii.	NOVILUNII veri.
19 Gennajo.	18 Gennajo.	15 Luglio.	14 Luglio.
17 Febbrajo.	16 Febbrajo.	13 Agosto.	12 Agosto.
19 Marzo.	18 Marzo.	12 Settembre.	11 Settembre.
17 Aprile.	16 Aprile.	11 Ottobre.	11 Ottobre.
17 Maggio.	16 Maggio.	10 Novembre.	9 Novembre.
15 Giugno.	14 Giugno.	9 Dicembre.	9 Dicembre.

Confrontando i giorni dei novilunii medii coi giorni dei corrispondenti novilunii veri che trovansi nella seconda colonna, si vede come questi siano quasi tutti in ritardo di un giorno, e potrebbero anche esserlo di due giorni. Questo ritardo dipende dal supporsi in questo computo uguali le durate delle lunazioni, mentre, come già fu detto più volte, nol sono; ma dipende anche da un'altra cagione, qual'è la seguente. All'epoca della riforma gregoriana, stante la differenza al principio accennata di $1^{ora}\,27'$ tra il periodo di 235 lunazioni medie e il periodo di 19 anni giuliani, e stante i tre anni bisestili di più che si hanno nel calendario giuliano in confronto del calendario gregoriano nel periodo di 400 anni, venne trovato un ritardo di quattro giorni dei novilunii veri sui medii nel calcolo dei novilunii cavati dal numero d'oro: quest'errore venne in gran parte corretto, ma non in tutto; e a bella posta fu lasciato il ritardo di un giorno per evitare più facilmente che la Pasqua dei cristiani non coincidesse colla Pasqua degli ebrei. Ora se accade che quest'errore venga a cospirare coll'altro già prima accennato, la differenza tra un novilunio medio e il corrispondente novilunio vero può ascendere, come fu detto, anche a due giorni. Una tale differenza devesi necessariamente avvertire da quelli che fanno uso delle epatte per conoscere l'età della luna (212).

La regola che venne data più sopra (212) per conoscere l'età della luna in un giorno qualunque dell'anno può servire anche, coll'approssimazione d'un giorno, alla determinazione dei giorni dei novilunii medii per tutti i mesi, ommettendo per altro i primi tre, pei quali la regola or ora esposta riesce bastantemente breve, tanto più che il novilunio medio di marzo ha sempre la stessa data di quello di gennajo. Aggiungasi pertanto all'epatta il numero dei mesi intieri trascorsi dal 1.° marzo fino a quello del quale cercasi il novilunio, la somma tolgasi da 30 ov-

vi hanno uno o due anni bisestili. Ma prendendo un intervallo di 28 anni, che nel calendario giuliano contiene sempre 7 anni

vero da 60, se eccedesse 30, e il residuo dinoterà il giorno richiesto. Così cercandosi il giorno del novilunio ecclesiastico nel luglio dell'anno 1855, siccome dal 1.° marzo a questo mese sono trascorsi quattro intieri mesi, aggiungasi 4 all'epatta, che è 12, e si avrà 16, che sottratto da 30, dà il residuo 14, il quale differisce di uno dal giorno che poc'anzi venne ritrovato.

Fin qui non abbiamo considerato che i cicli nei quali l'epatta 0 corrisponde al numero d'oro 1, qual è quello che trovasi attualmente in corso. Ma è facile il vedere quali modificazioni dovrebbersi operare pei cicli nei quali l'epatta 0 corrispondesse a un numero d'oro diverso da 1. Emerge per altro chiaramente che le diverse corrispondenze tra le epatte e i numeri d'oro costituiscono 19 casi, potendo l'epatta 0 corrispondere ad ognuno dei numeri d'oro dall'1 fino al 19 inclusivo. Com'è costruita la tavoletta esposta alla pag. 463 e valevole pei cicli del corrente secolo, così venne costrutta la tavola corrispondente a tutti i 19 casi e che chiamasi la *tavola estesa delle epatte*. È d'uopo ritenere però che ogni ciclo s'intende sempre cominciare coll'anno al quale l'epatta è 0, e che la luna embolismica di 29 giorni dev'essere sempre l'ultima del ciclo.

Alla più facile determinazione dei giorni in cui cadono i novilunii medii, qualunque sia il ciclo delle epatte, nei calendarii perpetui ogni giorno dell'anno viene contrassegnato con un'epatta, cominciando al giorno 1 coll'epatta 0 (la quale nei calendarii perpetui e nella tavola estesa delle epatte indicasi d'ordinario col segno *), continuando in ordine fino all'epatta XXIX pel giorno 30, ripigliando quindi l'epatta * pel giorno 31, e così proseguendo fino alla fine dell'anno. Ma se ogni giorno dell'anno fosse in questa maniera effettivamente contrassegnato da una propria epatta, ne deriverebbe che 12 serie consecutive d'epatte verrebbero ad occupare 360 giorni; mentre dovendo esse accordarsi coll'anno lunare, non ne possono occupare che 354. Perciò vengono fatte nel calendario medesimo sei interruzioni d'epatte, accoppiando sei volte l'epatta XXIV coll'epatta XXV, e questi accoppiamenti hanno luogo il 5 febbrajo, il 5 aprile, il 3 giugno, il 1.° agosto, il 29 settembre ed il 27 novembre. Per tal modo le successive epatte rappresentate dallo stesso numero vengono a comprendere alternatamente fra loro 30 e 29 giorni, con che è raggiunto lo scopo di avere le lunazioni alternate di 30 e 29 giorni come già fu detto più sopra.

I giorni dei novilunii medii per un dato anno qualunque sono quelli ai quali corrisponde l'epatta di quell'anno. Così l'epatta XII corrisponde precisamente a tutti quei giorni nei quali abbiamo già veduto cadere i diversi novilunii medii per l'anno 1855 (pag. 465).

Per l'accoppiamento delle epatte XXV e XXIV conseguirebbe che in tutti quei cicli nei quali si producono queste due epatte s'incontrerebbero nel periodo di 19 anni due novilunii medii in ognuno dei sei giorni nei quali si è fatto un tale accoppiamento, il che non si accorderebbe con quanto

bisestili, e che per conseguenza si compone nel suo assieme di un numero esatto di settimane, si è certi che, trascorso que-

fu già detto, che cioè non possono accadere nel periodo di 19 anni due noviluni nel medesimo giorno del mese, giacchè un tale incontro non ha luogo che trascorsi 19 anni intieri. Per ovviare a quest' inconveniente, in tutti quei cicli nei quali si producono le due epatte xxv, xxiv s' accoppia l'epatta xxv coll'epatta xxvi, e scrivesi l'epatta così trasportata con cifre arabiche, 25, per distinguerla da quella che non si trasporta quando nel medesimo ciclo non trovansi amendue le epatte xxv, xxiv. Ed è d'uopo notare che nei cicli in cui trovansi le due epatte xxv, xxiv non s'incontra l'epatta xxvi, mentre in tutti gli altri cicli, come è l'attuale, s' incontrano le due epatte xxv, xxvi, ma non l'epatta xxiv. I cicli nei quali trovansi le due epatte xxv, xxiv e non l'epatta xxvi, sono quelli nei quali l'epatta xxv concorre con un numero d'oro maggiore di 11, cioè coi numeri d'oro 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19; e in questi cicli all'epatta xxv è sostituita 25: negli altri cicli in cui l' epatta xxv concorre con un numero d'oro minore di 12, cioè coi numeri d'oro 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, trovansi le due epatte xxv, xxvi e non l'epatta xxiv: nel ciclo attuale all'epatta xxv corrisponde il numero d'oro 6.

È per la maniera colla quale vennero fatti questi accoppiamenti dell'epatta xxiv coll'epatta xxv che derivarono di 29 giorni le prime lunazioni complete di ogni anno, tranne che per quegli anni le cui epatte sono o 0 o maggiori di xxiv. Quando però l'epatta è 25 si ha ancora la prima lunazione completa dell'anno di 29 giorni; ed abbenchè si fossero potute accoppiare due epatte qualunque, furono nondimeno scelte le epatte xxv, xxiv, essendosi ritrovato che in tal modo si otteneva il minor numero possibile di lunazioni pasquali di 30 giorni, non accadendo ciò, come fu detto, che negli anni le cui epatte sono xxiv o 25, il che avviene assai di rado.

Le regole finora esposte servono alla determinazione del giorno in cui devesi celebrare la Pasqua di Risurrezione, la quale, per decreto del Concilio Niceno, deve cadere nella domenica dopo il plenilunio susseguente al 21 marzo (190), e per la Bolla di papa Gregorio XIII, precisamente nella domenica che immediatamente sussegue al giorno decimoquarto della luna, volendosi con ciò evitare in modo assoluto la coincidenza della Pasqua dei cristiani colla Pasqua degli ebrei, la quale viene sempre celebrata nel medesimo giorno del plenilunio. Essendo l' intervallo medio di tempo compreso tra due noviluni di circa giorni 29 $\frac{1}{2}$, se le lunazioni fossero tutte dell'ugual durata, da un novilunio al seguente plenilunio passerebbero sempre circa giorni 14 $\frac{3}{4}$; ma per l'ineguaglianza delle lunazioni può accadere che talvolta il plenilunio cada nel giorno decimoterzo dell'età della luna, ed avviene spessissimo nel giorno decimoquinto. Egli è perciò che la regola sopra enunciata non eviterebbe sempre la coincidenza delle due Pasque, bastando per questa coincidenza che il novilunio cadesse nel decimoquinto giorno della luna, e che questo giorno fosse domenica. È

sto tempo, in un novello periodo della stessa durata, i diversi giorni delle successive settimane arriveranno tutti alle stesse

per questa ragione che al tempo della riforma gregoriana venne conservato l'errore di un giorno nell'epoca del novilunii dedotti dal numero d'oro; essendochè per questo errore di un giorno anche il decimoquinto giorno della luna è posteriore al giorno del plenilunio. Da ciò per altro è venuto che nel 1704 la festa di Pasqua è caduta al 23 marzo, mentre avrebbe dovuto accadere il 23 aprile; giacchè in quest'anno il plenilunio doveva essere segnato al 20 marzo, che non è un giorno del mese pasquale, e invece fu segnato il 21 marzo, che appartiene a questo mese.

Da tutto ciò deriva che il novilunio pasquale non può mai accadere prima dell'8 marzo, poichè prima del 21 non può cadere il giorno decimoquarto della luna; che se il giorno decimoquarto della luna cadesse al 21 marzo, la Pasqua sarebbe nella domenica successiva, e se lo stesso giorno di 21 marzo fosse in domenica, la Pasqua cadrebbe sette giorni dopo, cioè il 28 marzo. Il novilunio pasquale ha luogo all'8 marzo quando l'epatta è XXIII: che se il novilunio di marzo ha luogo il 6, ovvero il 7 marzo, in amendue i casi il novilunio pasquale cade il 5 aprile; giacchè per il 6 marzo si ha l'epatta XXV, e la lunazione che si considera dev'essere di 30 giorni, e pel 7 marzo l'epatta è XXIV e questa lunazione è di 29 giorni. In amendue i casi pertanto il giorno decimoquarto della luna succede al 18 aprile, e la Pasqua si celebra nella domenica seguente; che se lo stesso 18 aprile è domenica, la Pasqua si trasporta alla domenica successiva 25 aprile, la quale è perciò la Pasqua più ritardata che sia possibile. Pertanto il giorno di Pasqua non può celebrarsi mai prima del 23 marzo nè dopo il 25 aprile: pel primo limite è necessario che l'epatta sia XXIII; pel secondo che sia XXIV ovvero XXV. Nell'anno 1818 la Pasqua ebbe luogo al 22 marzo; non avrà luogo al 25 aprile che nel 1886: ed in generale le Pasque anticipano molto tutte le volte che l'epatta è XXIII, come nell'anno 1856, in cui la Pasqua succederà col giorno 23 marzo; invece ritardano molto quando l'epatta è XXIV o XXV, come accadde nel 1848, in cui la Pasqua ebbe luogo il giorno 23 aprile.

Riassumendo dunque, alla ricerca del giorno di Pasqua per un dato anno qualunque occorrono le seguenti successive operazioni: dal numero esprimente l'anno si desuma il numero d'oro per l'anno medesimo; dal numero d'oro si cavi l'epatta per quest'anno; dall'epatta si deduca il giorno del novilunio ecclesiastico compreso tra l'8 marzo e il 5 aprile inclusivo; a questo giorno si aggiunga 13 per avere il giorno decimoquarto della luna, e nella domenica successiva all'ultimo giorno ottenuto si ha la Pasqua di Risurrezione. Così antecedentemente venne già trovato che nel 1855 il numero d'oro è 13, l'epatta XII; e che il novilunio ecclesiastico compreso tra l'8 marzo e il 5 aprile ha luogo il 19 marzo; aggiungendo a questo 13 giorni s'incontra il 1.° aprile, il qual giorno essendo in domenica, manda la Pasqua alla domenica successiva, cioè all'8 aprile. Per saper poi in qual giorno cade la domenica è d'uopo conoscere la

date che durante i primi 28 anni. Questo periodo di 28 anni dicesi *ciclo solare*. Gli anni sono ugualmente ripartiti in gruppi di 28, e in ognuno di questi gruppi essi portano dei numeri progressivi da 1 a 28. Così nei calendarii pel 1855 trovasi l'indicazione seguente: ciclo solare 16; il che significa che l'anno 1855 è il 16.° in uno di questi gruppi di 28 anni. L'uso del ciclo solare trovasi alquanto modificato, seguendo il calendario grego-

lettera domenicale dell'anno (vedi la nota seguente). Il calendario perpetuo delle epatte e delle lettere domenicali dà immediatamente il giorno pasquale quando si conoscano l'epatta e la lettera domenicale dell'anno.

Il giorno di Pasqua è il fondamento alla determinazione di tutte le altre *feste mobili*, le quali si desumono colle seguenti regole. La *Settuagesima* ha luogo nove settimane, cioè 63 giorni prima di Pasqua; le *Ceneri* 46 giorni prima di Pasqua; l'*Ascensione* ha luogo 39 giorni dopo Pasqua, e precedono ad essa le *Rogazioni* ossia *Litanie alla Romana;* e dopo 10 giorni la *Pentecoste*, la quale per conseguenza avviene 49 giorni dopo Pasqua, e ad essa precedono, nei giorni di lunedì, martedì e mercoledì, le *Litanie all'Ambrosiana;* la *Trinità* è l'ottava dopo la Pentecoste, e nel giovedì susseguente alla Trinità trovasi il *Corpus Domini;* la prima domenica dell'*Avvento* è quella interposta tra il 26 novembre e il 4 dicembre esclusivamente; due settimane prima ha luogo l'*Avvento Ambrosiano*. Con questi elementi sono desunte le feste mobili del 1855, cioè:

Settuagesima	4	febbrajo.
Ceneri	21	»
Pasqua di Risurrezione	8	aprile.
Rogazioni o Litanie alla Romana . . .	14, 15, 16	maggio.
Ascensione	17	»
Litanie all'Ambrosiana	21, 22, 23	»
Pentecoste	27	»
SS. Trinità	3	giugno.
Corpus Domini	7	»
Avvento all'Ambrosiana	18	novembre.
Avvento alla Romana	2	dicembre.

Finalmente i *digiuni* delle quattro stagioni, ossia le *quattro tempora*, furono prescritte da Gregorio VII alle epoche seguenti: *prima settimana di Quaresima*, la cui domenica cade 42 giorni prima di Pasqua, ossia 21 giorni dopo la settuagesima; *settimana della Pentecoste;* dopo l'*Esaltazione della Croce*, cioè dopo il 14 settembre; e nella *terza settimana d'Avvento;* le quali, per conseguenza, nel 1855 hanno luogo nei seguenti giorni:

Tempora di Primavera	28 febbrajo, 2, 3 marzo.
» d'Estate	30 maggio, 1, 2 giugno.
» d'Autunno	19, 21, 22 settembre.
» d'Inverno.	19, 21, 22 dicembre.

riano, ogni volta che si passa per un anno secolare che non è bisestile (*).

(*) I cicli solari succedonsi continuamente l'uno all'altro. Essendo 16 il numero del ciclo solare pel 1855, deriva che l'anno primo del ciclo attuale fu il 1840. Il 1839 fu dunque l'ultimo anno del ciclo passato: dividendo 1839 per 28, si trova per quoziente 65 e per residuo 19; per cui alla fine del 1839 erano trascorsi 65 intieri cicli e 19 anni dal principio dell'Era cristiana: supponendo che dall'origine dei cicli all'anno 1839 fossero trascorsi 66 cicli completi, l'origine dei cicli dovrebbe assumersi coll'anno 9.° avanti l'Era cristiana, il che è quanto si fa comunemente; e torna lo stesso che il dire che il numero del ciclo solare corrispondente all'anno primo dell'Era cristiana era 10. Da ciò si ha una regola facile per trovare il numero del ciclo solare corrispondente ad un anno qualunque passato o futuro: aggiungasi 9 al numero dell'anno e la somma si divida per 28; il quoziente esprimerà il numero dei cicli completi trascorsi dall'origine dei cicli all'anno di cui si tratta, il residuo il numero del ciclo in corso pel medesimo anno. Applicando questa regola alla ricerca del numero del ciclo solare pel 1855, si avrebbe 1864 coll'aggiungervi 9; e dividendo 1864 per 28, risulterebbe il quoziente 66, che esprime il numero degl'intieri cicli decorsi, e il residuo 16, che è il numero del ciclo solare per lo stesso anno 1855.

Il ciclo solare servì alla primitiva Chiesa onde trovare i giorni della settimana. A tal fine il ciclo solare non può essere disgiunto dalla *lettera domenicale*, la quale è rappresentata da una delle sette lettere dell'alfabeto A, B, C, D, E, F, G. Esaminando un calendario perpetuo, si trova che ogni giorno dell'anno vi è contrassegnato da una di queste lettere, cominciando colla lettera A pel primo giorno, e in ordine procedendo fino alla lettera G pel settimo giorno, quindi ripigliando ancora la lettera A per l'ottavo, e così proseguendo fino all'ultimo giorno; e siccome fu già detto che in un anno sono contenute 52 settimane ed un giorno, così all'ultimo giorno dell'anno viene a corrispondere la lettera A come al primo.

Nei primi sette giorni d'un anno qualunque vengono evidentemente a corrispondere i sette giorni della settimana e le sette lettere domenicali; e, per tutto il corso del medesimo anno, allo stesso giorno della settimana corrisponde sempre la stessa lettera. Dicesi *lettera domenicale* di un anno la lettera che corrisponde a tutte le domeniche di quell'anno, per cui se la domenica cade nel primo giorno dell'anno, la lettera domenicale è A, se nel secondo la lettera domenicale è B, e così di seguito; se la domenica cade nel settimo giorno dell'anno, la lettera domenicale è G, come ha luogo nell'anno 1855, per cui in quest'anno tutte le domeniche saranno nel calendario perpetuo contrassegnate colla lettera G, e perciò tutti i lunedì colla lettera A, tutti i martedì colla lettera B, e via di seguito.

Per non alterare la corrispondenza tra i giorni e le lettere negli anni comuni, il 29 febbrajo, che non esiste che negli anni bisestili, non è contrassegnato da lettera alcuna; per cui negli anni bisestili le lettere dei

Il ciclo delle *indizioni romane* è un periodo di 15 anni che venne adottato ai tempi degl'imperatori romani, e che non è

dieci mesi sussegnenti ai 29 febbrajo corrispondono a giorni avanzati d'un posto nella settimana. Così si prenda, per esempio, a considerare l'anno bisestile 1856, il quale, cominciando in martedì, ha la lettera domenicale F. Questa lettera rimane domenicale per tutto il corso dei mesi di gennajo e febbrajo, ed il 28 di quest'ultimo mese cade in giovedì; il 29, che è privo di lettera, prende il venerdì, e quindi alla lettera D, la quale appartiene al primo giorno di marzo, tocca il sabato, per cui la domenica deve retrocedere d'un posto da quello in cui sarebbe stata se l'anno che consideriamo fosse comune, vale a dire retrocederà dal 3 marzo al 2, in guisa d'acquistare la lettera E invece di conservare la lettera che aveva prima F. Egli è perciò che agli anni bisestili si attribuiscono due lettere domenicali, la prima valevole pei primi due mesi, la seconda pel giorno 29 febbrajo e per gli altri dieci mesi: così per l'anno 1856 le lettere domenicali sono F, E.

Cadendo lo stesso giorno della settimana nei primo e nell'ultimo giorno di un anno comune, ne viene di conseguenza che nell'anno successivo la domenica anticipa di un giorno in confronto dell'anno che lo precedette; quindi anche la lettera domenicale del secondo anno retrocede d'un posto in confronto della lettera domenicale del primo anno. Ed infatti nell'anno 1855 la prima domenica è caduta al 7 gennajo, e la lettera domenicale è risultata G; nell'anno 1856 la prima domenica cadrà al 6 gennajo, e le lettere domenicali risulteranno F, E. Da ciò si vede chiaramente che le lettere domenicali nei diversi anni comuni devono procedere con un ordine retrogrado: passando poi da un anno bisestile ad un anno comune, è pur facile il vedere che nell'anno comune la prima domenica deve anticipare di due giorni in confronto della prima domenica dell'anno bisestile; la lettera domenicale adunque dell'anno comune retrocederà di due posti in confronto della prima lettera domenicale dell'anno bisestile antecedente, ma retrocederà d'un posto soltanto in confronto della seconda lettera domenicale di quest'anno. Così essendo l'anno 1856 bisestile e la prima sua domenica cadendo il 6 gennajo, la prima domenica dell'anno 1857 cadrà il 4 gennajo; le lettere domenicali dell'anno 1856 saranno F, E, e quella dell'anno 1857 sarà D.

Da ciò ognuno può anche dedurre che gli anni successivi cominciano d'ordinario coi giorni successivi della settimana, saltandosene uno soltanto dopo gli anni bisestili.

È parimente facile il dedurre da quanto precede che, data la lettera domenicale d'un anno, si può avere il primo giorno della settimana di quest'anno; come pure dato questo giorno si può avere la lettera domenicale senz'esser d'uopo ricercare la lettera corrispondente alla domenica: la lettera domenicale e il giorno della settimana corrispondente al primo giorno dell'anno sono dati vicendevolmente dalla seguente tavoletta:

Lett. domen.	A	B	C	D	E	F	G
1.° di genn.	***dom.***	***sab.***	***ven.***	***giov.***	***merc.***	***mart.***	***lun.***

legato ad alcun fenomeno astronomico. Ogni anno porta un numero relativo a questo ciclo, come per ambedue i precedenti. Così nel 1855 l'indizione romana è 13.

Ritornando nel calendario giuliano i medesimi giorni della settimana a corrispondere dopo 28 anni ai medesimi giorni dell'anno, è evidente che in questo calendario al medesimo numero del ciclo solare deve sempre corrispondere la medesima lettera domenicale. Ciò per altro non può altrimenti aver luogo nel calendario gregoriano, dovendosi, come fu detto, operare una modificazione tutte le volte che s'incontra un anno secolare non bisestile. La seguente tavoletta porge la corrispondenza tra i numeri del ciclo solare e le lettere domenicali valevole per tutti gli anni del corrente secolo:

CICLO solare.	LETTERA domenicale.	CICLO solare.	LETTERA domenicale.
1	E D	15	A
2	C	16	G
3	B	17	F E
4	A	18	D
5	G F	19	C
6	E	20	B
7	D	21	A G
8	C	22	F
9	B A	23	E
10	G	24	D
11	F	25	C B
12	E	26	A
13	D C	27	G
14	B	28	F

Quando un anno secolare, secondo la riforma gregoriana, non è bisestile, in luogo di avere due lettere domenicali, ne ha una sola, quindi non succede il salto d'una lettera domenicale nel passaggio di quest'anno secolare al successivo, come avrebbe luogo secondo il calendario giuliano: il numero del ciclo solare prosegue però nello stesso ordine; ed è perciò che viene alterata la corrispondenza tra i numeri del ciclo e le lettere domenicali ad ogni incontro d'un anno secolare non bisestile. Così il 1800, pel quale il numero del ciclo solare era 17, doveva avere, secondo il calendario giuliano, le lettere domenicali E, D; non essendo stato bisestile, portò la sola lettera E, per cui la lettera domenicale del successivo anno 1801 fu D invece di C, quello del 1802 fu C invece di B, e via di seguito. Parimente se l'anno 1900, il cui numero del ciclo solare è 5, fosse bisestile, come dovrebb'essere secondo il calendario giuliano, avrebbe le due lettere domenicali G, F; ma essendo un anno comune, avrà

I tre numeri 19, 28, 15, che rappresentano le durate dei periodi relativi al ciclo lunare, al ciclo solare ed al ciclo delle indi-

la sola lettera domenicale G, per cui il 1901 avrà la lettera domenicale F invece di E, il 1902 la lettera domenicale E invece di D, e così via dicendo. Dalla maniera colla quale viene così modificata la corrispondenza tra i numeri del ciclo solare e le lettere domenicali si vede che, quando si conosce questa corrispondenza per un certo secolo, riesce assai facile il ritrovarla anche per un altro secolo qualunquè; giacchè ad ogni anno secolare non bisestile, che in avvenire s'incontra, al medesimo numero del ciclo viene a corrispondere una lettera avanzata d'un posto nell'alfabeto, o, ciò che è lo stesso, la medesima lettera retrograda d'un posto nella serie dei numeri del ciclo. Essendo quindi E, D le lettere domenicali che attualmente corrispondono ai primi anni dei cicli, quelle che corrisponderanno ai primi anni dei cicli del secolo venturo saranno F, E, mentre quelle che corrispondevano ai primi anni dei cicli del decorso secolo erano D, C. Per avere le lettere domenicali corrispondenti ai primi anni dei cicli prima della riforma gregoriana, siccome fa d'uopo aggiungere i dodici giorni che vennero soppressi dall'epoca della riforma medesima, e togliendo 7 da 12 rimane 5, così bisogna retrocedere di cinque lettere da E, D, e si ottengono G, F: in oltre essendo G l'attual lettera domenicale pel decimo anno del ciclo, la lettera domenicale pel primo anno dell'Era cristiana si otterrà retrogradando di 5 posti, e sarà B, per cui si vede che il primo anno dell'Era cristiana ha cominciato col sabato.

A determinare il giorno della settimana col quale ebbe principio l'Era cristiana non è per altro necessario conoscere la corrispondenza tra le lettere domenicali e i numeri del ciclo solare pel nostro secolo o per qualunque altro secolo; basta solo conoscere il giorno della settimana colla quale comincia un dato anno. Sappiasi infatti che il primo giorno dell'anno 1855 cadde in lunedì: si calcoli il numero dei giorni trascorsi dal principio dell'Era al principio del 1855: se i 1854 anni decorsi fossero stati tutti comuni, questi giorni sarebbero stati 1854 $\times$ 365 ossia 676710; aggiungasi a questo prodotto il numero di giorni 463 derivanti dagli anni bisestili secondo il computo giuliano, ed ottenuti dividendo 1854 per 4, non tenendo conto del residuo, si avrà 677173; si levino i 12 giorni soppressi dalla riforma gregoriana, e risulterà 677161; finalmente si aumenti di 1 questo risultato, e il richiesto numero di giorni trascorsi sarà 677162: trovinsi quante settimane sono contenute in questi giorni, il che si otterrà dividendo per 7, e si avrà il quoziente 96737 col residuo 3; per cui si vede che il primo giorno dell'anno 1855 era il terzo giorno della 96737.ª settimana; e siccome questo giorno cadeva in lunedì, così sarà stato pure in lunedì il terzo giorno dell'Era cristiana, e perciò il primo giorno sarà stato un sabato, come già abbiamo veduto.

Conoscendosi il giorno della settimana colla quale ebbe principio l'Era nostra riesce facile anche la ricerca del giorno della settimana corrispondente al primo giorno d'un anno qualunque passato o futuro. Basta a tal fine trovare il numero dei giorni decorsi dal principio dell'Era fino al

zioni romane sono primi tra essi a due a due; e ne risulta che nell' intervallo di 7980 anni consecutivi (7980 è uguale a

principio dell'anno di cui si tratta; da questo, dividendo per 7, cavare il numero delle settimane trascorse, e nel residuo si avrà l'indicazione del giorno della settimana che si cerca: i residui e i giorni della settimana debbono evidentemente avere la seguente corrispondenza:

Residuo	0	1	2	3	4	5	6
Giorni della settim.:	*ven.*	*sab.*	*dom.*	*lun.*	*mart.*	*merc.*	*giov.*

Siccome poi negli anni successivi comuni i giorni della settimana si succedono in ordine ad occupare il posto del primo giorno dell'anno, col salto d'un giorno dopo gli anni bisestili, così, aggiungendo al numero dell'anno proposto il numero dei bisestili decorsi, e, se fa d'uopo, levando i giorni soppressi dalla riforma gregoriana, si otterrà il numero dei giorni della settimana succedutisi ad occupare il posto del primo giorno dell'anno, cominciando dal sabato, primo giorno dell'era, fino a quello dell'anno proposto inclusivi; togliendo dal risultato il 7 quante volte si può mediante la divisione, la medesima tavoletta porgerà nel residuo il richiesto giorno della settimana. Così per esempio assumansi i due anni 1500 e 1855, l'uno anteriore e l'altro posteriore alla riforma gregoriana, e si avranno:

	1500	1855
Bisestili decorsi	374	463
	1874	2318
Giorni soppressi		12
		2306
Residuo della divisione per 7 .	5	3
Principio dell'anno . . .	*mercoledì*	*lunedì.*

Conosciuto poi il giorno della settimana col quale ebbe principio l'anno, si conosce subito la lettera domenicale dell'anno; così per l'anno 1500, che fu bisestile secondo il computo giuliano, si avranno le lettere domenicali E, D; e pel 1855 la lettera G.

Vediamo ora come, conosciuta la lettera domenicale d'un dato anno, si giunga a conoscere il giorno della settimana corrispondente ad un giorno qualunque del detto anno. A tal fine basterebbe cercare nel calendario perpetuo la lettera che corrisponde a questo giorno: mancando del calendario, si divida per 7 il numero del giorno dell'anno che compete al giorno di cui si tratta, e nel residuo si avrà l'indicazione della lettera; giacchè è manifesto che tra i residui e le lettere deve esistere la seguente corrispondenza:

0	1	2	3	4	5	6
G	A	B	C	D	E	F.

In questa operazione il febbrajo deve considerarsi di giorni 28 anche negli anni bisestili, giacchè si è veduto che il 29 non porta lettera. Conosciuta questa lettera, e conosciuta anche la lettera domenicale, riesce

19 × 28 × 15) non v'hanno due anni che abbiano lo stesso numero d'oro, lo stesso ciclo solare e la stessa indizione romana; per modo che in questo intervallo di tempo di 7980 anni basta conoscere i tre numeri che porta un anno qualunque relativamente ai tre cicli de' quali è quistione per distinguere quest'anno da tutti gli altri. Questa considerazione condusse ad adottare un nuovo periodo comprendente 7980 anni, al quale si dà il nome di *periodo giuliano*. Si prese per primo anno di quest'immenso periodo quello che porta il numero 1 in ognuno dei tre cicli componenti, e si è trovato che questo primo anno del periodo giuliano che comprende l'epoca attuale è l'anno 4713 avanti Gesù Cristo. Lo stesso periodo, da quest'epoca remota in cui ebbe

facilissimo il conoscere qual giorno della settimana corrisponda al giorno in discorso. Così se questo giorno è il 27 luglio 1855, essendo esso il giorno 208 dell'anno, diviso 208 per 7 si ha il quoto 29 e il residuo 5; dunque la lettera corrispondente a questo giorno è E, cioè la lettera corrispondente al giorno 5 dell'anno: ma essendo G la lettera domenicale dell'anno, il suo primo giorno è lunedì; il quinto giorno è quindi venerdì, e perciò venerdì è pure il giorno 27 luglio di quest'anno.

Allo stesso scopo è molto usata la seguente tavoletta, nella quale tutti i numeri indicati spettano al giorno della settimana che trovasi notato sotto la lettera domenicale dell'anno. Così essendo G la lettera domenicale dell'anno 1855, e trovandosi sotto la lettera G notata la *domenica*, i numeri della tavola indicano tutti i giorni di domenica dell'anno 1855. Conosciuti i giorni che competono alla domenica, è facile dedurre quelli che appartengono a qualunque altro giorno della settimana.

Aprile. Luglio.	Sett. Dicem.	Giugno.	Febb. Marzo. Nov.	Agosto.	Maggio.	Gennajo. Ottobre.
1 8 15 22 29	2 9 16 23 30	3 10 17 24	4 11 18 25	5 12 19 26	6 13 20 27	7 14 21 28
G Domenica.	F Lunedì.	E Martedì.	D Mercoledì.	C Giovedì.	B Venerdì.	A Sabato.

Ma anche senza conoscere la lettera domenicale dell'anno si può conoscere questo giorno della settimana collo stesso processo col quale si

principio, non terminerà che nell'anno 3267; esso adunque stendesi a tutti i tempi storici, e si prolungherà ancora lungo tempo nell'avvenire; in guisa che per l'indicazione delle date delle quali possiamo avere occasione d'occuparci è affatto inutile considerare i periodi che l'hanno preceduto o che lo seguiranno. Il primo anno di questo periodo giuliano forma così un'era particolare, alla quale si riferiscono tutte le altre per paragonarle. L'anno 1855 è il 6568° a partire da quest'era; e dalla maniera colla quale il primo anno del periodo venne scelto, se si divide il numero 6568 successivamente per ognuno dei numeri 19, 28, 15, debbonsi avere per residui di queste tre divisioni i numeri 13, 16, 13, che sono il numero d'oro, il ciclo solare e l'indizione romana relativi all'anno 1855; ciò che infatti ha luogo, come si può verificare (*).

determina il giorno della settimana corrispondente al principio dell'anno. Così nell'esempio proposto si avrà:

Numero dell'anno diminuito di uno	1854
Numero del giorno dell'anno	208
Bisestili decorsi	463
	2525
Giorni soppressi	12
	2513
Residuo della divisione per 7	0
Giorno della settimana	*venerdì.*

Pertanto con uno qualunque dei processi qui indicati, ancorchè non si abbia il calendario perpetuo, si potrà conoscere il giorno della settimana corrispondente al decimoquarto giorno della luna pasquale, e perciò anche il giorno in cui devesi celebrare la Pasqua di Risurrezione (vedi nota antecedente).

(*) Operando analogamente a quanto abbiamo fatto pel numero d'oro e pel ciclo solare, si trova potersi stabilire per epoca d'incominciamento dell'*indizione romana* il terzo anno prima dell'Era cristiana. Per trovare quindi l'indizione romana per un anno qualunque si aumenti di 3 il numero di quest'anno, si divida il risultato per 15, e nel residuo si avrà l'indizione romana richiesta. Così aumentato 1855 di 3 si avrà 1858, il quale diviso per 15 dà il quoziente 123 e il residuo 13; per cui 13 è l'indizione romana dell'anno 1855.

Alla stessa maniera poi, aumentando il numero di un anno di 4713, e dividendo il risultato per 7980, si ha nel residuo il numero del *periodo giuliano* corrispondente a quell'anno.

ECLISSI ED OCCULTAZIONI

226. Avviene di tempo in tempo che il disco del sole perda durante alcune ore la forma circolare che gli è propria: da una parte di questo disco si forma come un incavo, il quale va progressivamente ingrandendosi, per diminuire ben presto a poco a poco, e per annullarsi ritornando il disco dell'astro ad essere qual'era al principio di questo singolare fenomeno. Talvolta l'incavo che formasi nel disco stendesi tanto da coprirlo totalmente, e per alcuni minuti il sole allora scomparisce; ma in capo a qualche tempo l'astro riapparisce, passando successivamente e in senso inverso per le diverse fasi presentate prima della sua disparizione.

Anche la luna prova di tempo in tempo analoghe modificazioni nella forma del suo disco, le quali, sebbene abbiano una certa rassomiglianza colle fasi di quest'astro (195), non debbono venir confuse con esse, tanto a cagione della loro durata, che non è mai che una frazione di giorno, quanto per la grandezza e l'irregolarità degl'intervalli di tempo compresi tra le epoche nelle quali si osservano.

Questi notevoli fenomeni, che per lungo tempo furono per gli uomini cagione di spavento, e che ora non fanno che eccitarne la curiosità, diconsi *eclissi*. Gli eclissi di sole avvengono sempre all'istante del novilunio, e quelli di luna sempre all'istante del plenilunio; per la quale circostanza si potè da lungo tempo conoscere la causa a cui dovevansi attribuire. All'istante del novilunio la luna, passando tra la terra e il sole, può togliere ai nostri sguardi una porzione più o meno grande di quest'astro, ciò che produce appunto gli eclissi di sole: all'istante del plenilunio invece la terra trovasi tra il sole e la luna; può dunque impedire che i raggi solari giungano sulla superficie di quest'ultimo astro, il quale pertanto cesserà dal presentare l'aspetto brillante sotto cui lo si vedeva qualche tempo prima, e ne risulterà un eclisse di luna.

Se la luna, nel suo moto intorno alla terra, rimanesse sempre nel piano dell'eclittica, è chiaro che vi sarebbe un eclisse di sole ad ogni novilunio e un eclisse di luna ad ogni plenilunio: ma noi sappiamo che ciò non si verifica, e gli eclissi sono molto più rari di quanto sarebbero in questo caso; il che deriva dal muoversi la luna in un'orbita inclinata rispetto al piano dell'eclittica, per cui

essa trovasi ora da una parte di questo piano, ora dall'altra parte, e ad una distanza che cambia da un istante all'altro; per modo che all'istante delle sizigie essa passa comunemente tanto lungi dalla retta che congiunge il centro del sole col centro della terra da non esservi eclisse. Non può aver luogo eclisse che nel caso che all'istante del novilunio, ovvero del plenilunio, il centro della luna trovisi nel piano dell'eclittica o bastantemente vicino a questo piano. Gli è da ciò che deriva il nome d'*eclittica*, dato al piano dell'orbita apparente del sole intorno alla terra, ossia dell'orbita reale della terra intorno al sole.

Ci faremo ora a porgere alcuni schiarimenti sulle circostanze che presentano gli eclissi di sole e di luna, ed i mezzi cui si ricorre onde predirne il ritorno: cominceremo dagli eclissi di luna, come quelli che sono molto più semplici.

227. Eclissi di luna. — Abbiamo detto che gli eclissi di luna derivano dall'interposizione della terra tra il sole e la luna, per cui i raggi solari non possono giungere sulla superficie di quest'ultimo astro. Cerchiamo dapprima di riconoscere s'egli è possibile che ciò accada.

Il sole manda raggi di luce in tutte le direzioni; quelli che sono diretti verso la terra vengono arrestati dalla presenza di questo corpo opaco, e ne risulta che al di là della terra una porzione dello spazio trovasi nell'ombra. Imaginiamo un cono A O A′ (fig. 298) che avvolga totalmente il sole S e la terra T,

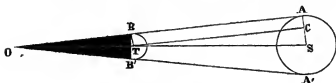



Fig. 298.

radendo le loro superficie lungo tutto il loro contorno; è facile il vedere che nessun raggio solare, supponendo che mantenga costantemente la sua direzione rettilinea, potrà penetrare nella porzione di questo cono compresa tra il suo vertice e la terra; mentre, considerando un altro punto qualunque dello spazio, si vede che sempre possono giungervi dei raggi provenienti se non dalla totalità almeno da una parte dell'emisfero solare che è rivolta verso questo punto. L'ombra prodotta dalla terra dalla parte opposta al sole è dunque costituita dalla porzione B O B′ del cono.

Perchè la luna venga ad eclissarsi è d'uopo ch'essa possa penetrare nel cono ombroso; vediamo adunque qual'è la lunghezza di questo cono. Se pel punto T conduciamo la retta T C parallela ad O A, avremo due triangoli simili O B T, T C S, che daranno la proporzione:

$$\frac{O\,T}{T\,B} = \frac{T\,S}{S\,C}.$$

Prendendo il raggio della terra T B per unità, S C, differenza tra il raggio del sole e il raggio della terra, sarà uguale a 111 (150): in oltre la distanza T S del sole dalla terra è, per termine medio, uguale a 24000; per cui si conchiude che la distanza O T del vertice del cono ombroso al centro della terra è uguale a 216 raggi terrestri. Questo risultato ci mostra che la luna può penetrare nel cono ombroso della terra, poichè la distanza che esiste tra il suo centro e quello della terra è di soli 60 raggi terrestri. Si può aggiungere ancora che la luna, penetrando nel cono ombroso, può esservi totalmente contenuta; poichè se si considera la sezione trasversale del cono al mezzo della distanza O T, vale a dire a una distanza dal punto T uguale a 108 raggi terrestri, il diametro di questa sezione è uguale alla metà del diametro della terra: il diametro della sezione, fatta a una distanza dal punto T uguale a 60 raggi terrestri soltanto, è dunque più grande della metà del diametro della terra; ed è noto che il diametro della luna non è guari che il quarto di quello della torra, vale a dire è molto più piccolo di quello della sezione trasversale del cono ombroso al punto in cui la luna penetra in questo cono. Così non solo la luna nel suo moto intorno alla terra può incontrare il cono ombroso projettato da questo globo, ma può anche trovarsi tutta intiera nell'interno di questo cono.

228. Quando la luna non penetra che in parte nel cono ombroso della terra, dicesi che l'eclisse è *parziale;* e quando penetra totalmente nell'interno di questo cono l'eclisse è *totale.*

Rappresentandoci la luna come muoventesi di moto sensibilmente uniforme secondo una direzione press'a poco perpendicolare a quella dell'asse del cono ombroso, ci formeremo subito un'idea delle circostanze principali che dovrà presentare un eclisse di luna dall'istante del suo principio fino all'istante della sua fine. Nel caso d'un eclisse parziale l'ombra della terra stendesi ognor più sulla superficie della luna fino all'istante in cui il centro dell'astro trovasi al punto della sua orbita il più vicino all'asse del cono: a partire da quel punto l'ombra abban-

dona a poco a poco la luna, e finisce collo scomparire affatto. La figura 299 può porgere un'idea dell'incavo che presenta il disco della luna quando l'ombra della terra si projetta così sopra una porzione della sua superficie. Il lembo *a b c* di quest' incavo è una parte del contorno della sezione trasversale fatta nel cono ombroso alla parte ove trovasi la luna; la forma arrotondata di questo lembo, che è impossibile di non avvertire quando si osserva un eclisse, manifesta evidentemente la rotondità della superficie della terra, rotondità che da principio abbiamo stabilita per mezzo di semplici osservazioni fatte alla superficie medesima del globo (53 e 54).

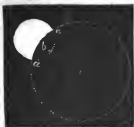



Fig. 299.

Nel caso d'un eclisse totale la luna penetra dapprima a poco a poco nel cono ombroso; il suo disco presenta un'incavatura ognor maggiore fino all'istante in cui è totalmente involta dall'ombra della terra. La luna rimane in questo stato per un certo tempo, poi ne esce ripassando successivamente per le diverse apparenze che aveva precedentemente presentate ma in senso opposto.

229. L'incavatura del disco della luna all'istante in cui questo astro non è che parzialmente eclissato è lungi dall'essere tanto netta e ben terminata come sembra mostrarlo la figura 299. L'ombra projettata dalla terra sulla luna presenta una penombra (117), come ciò ha luogo necessariamente ogni volta che trattasi dell'ombra prodotta da un corpo opaco esposto ai raggi del sole.

Per spiegarci l'estensione di questa penombra imaginiamo un altro cono A O′ A′ (fig. 300), avente il vertice O′ tra il sole e la terra, e avvolgente il sole S e la terra T colle due falde opposte A O′ A′, B O′ B′, radenti le superficie di questi due corpi per tutto il loro contorno. È facile il vedere che ogni punto

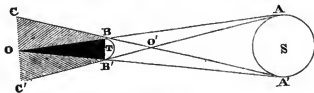



Fig. 300.

situato nell'interno dello spazio C B B' C', e fuori dell'ombra B O B', deve ricevere raggi di luce provenienti da una porzione soltanto dell'emisfero del sole che è rivolto verso di esso; da un tal punto non devesi quindi discernere che una porzione del disco del sole, essendo l'altra porzione occultata dalla terra che trovasi frapposta fra questo punto ed il sole. Si riconoscerà in oltre assai facilmente che la porzione del sole che invia dei raggi di luce al punto di cui si tratta è tanto più grande quanto più questo punto è vicino alla superficie esteriore dello spazio C B B' C', e per contrario tanto più piccola quanto è più vicina alla superficie dell'ombra pura B O B'. Avanzandosi pertanto la luna in guisa da penetrare nel cono ombroso della terra, una porzione qualunque della sua superficie deve incominciare a perdere del suo splendore all'istante in cui entra nel cono C B B' C'; a misura poi che questa porzione di superficie s'avanza verso l'ombra pura, la luce deve progressivamente diminuire per disparire affatto all'istante in cui raggiunge il limite esteriore di quest'ombra pura.

Occupando ad un dato istante le diverse parti del disco della luna differenti posizioni nell'interno di questo spazio che corrisponde alla penombra, deve prodursi un'insensibile degradazione di luce dai punti che sono illuminati da tutta la superficie del sole fino a quelli che non ne ricevono alcun raggio luminoso. Ma è facile il vedere che il diametro del disco della luna non è sufficientemente grande perchè vi si possa ben distinguere la penombra in tutta la sua estensione. La larghezza angolare della penombra è rappresentata esattamente dall'angolo C B O; ma quest'angolo è uguale all'angolo A B A', che altro non è che il diametro apparente del sole veduto dalla terra: e siccome il diametro apparente della luna è press'a poco uguale a quello del sole, così ne risulta che la luna può occupare press'a poco tutta la larghezza della penombra. Perciò quando una porzione del disco della luna è nell'ombra pura, l'altra porzione dev'essere tutta intiera nella penombra, e non deve nemmeno stendersi fino al limite opposto di questa penombra.

È facile a notarsi il passaggio insensibile dell'ombra pura alla penombra; la degradazione di tinta che vi si vede è tanto pronunciata che è affatto impossibile l'indicare con precisione l'istante in cui un punto discernibile sulla luna lascia la penombra per entrare nell'ombra pura, o inversamente.

230. Oltre le circostanze ora indicate, e risultanti dalla maniera onde una parte dei raggi solari è intercettata dall'inter-

posizione del globo terrestre tra il sole e la luna, altre ve ne hanno dovute alla presenza dell'atmosfera terrestre e che verremo esponendo.

Perchè tutto avvenga come abbiamo detto fin qui è d'uopo che i raggi solari, passando vicino alla terra, conservino la direzione rettilinea ch'essi avevano all'istante in cui sono partiti dal sole. Ma è noto che non è così pei raggi luminosi che attraversano l'atmosfera terrestre: questi raggi cambiano direzione ad ogni passaggio da uno strato d'aria a un altro di diversa densità; e se, dopo essere penetrati nell'atmosfera da una parte, ne escono dall'altra senza avere incontrata la superficie della terra, debbono nell'intervallo aver provato un notevole cangiamento di direzione. Consideriamo un raggio in particolare, quale S A (fig. 301), il quale attraversi l'atmo-

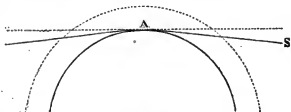



Fig. 301.

sfera terrestre passando vicinissimo alla superficie del suolo: la direzione di questo raggio al punto A, in cui è divenuto per così dire tangente a questa superficie, non è la medesima direzione ch'esso aveva prima di penetrare nell'atmosfera; la deviazione ch'esso ha provato fino al punto A è maggiore di 33′ (58) nelle circostanze ordinarie: dal punto A fino alla sua uscita dall'atmosfera esso prova una nuova deviazione uguale alla precedente e nel medesimo verso; per modo che la direzione definitiva di questo raggio luminoso fa colla sua primitiva direzione un angolo che è maggiore di un grado. Questa deviazione totale che prova un raggio di luce che attraversi l'atmosfera senza fermarsi alla terra è d'altra parte più o meno grande secondo che questo raggio si avvicina più o meno alla superficie del suolo, e può presentare tutti i valori compresi dalla deviazione maggiore d'un grado e che corrisponde al raggio che penetra negli strati più bassi dell'atmosfera, fino a una deviazione nulla e che corrisponde al raggio che tocca lo strato esteriore dell'atmosfera senza penetrarvi.

Comprendesi da ciò che il cono ombroso di cui abbiamo precedentemente parlato non dev' essere privo di raggi solari in tutta la sua estensione; giacchè i raggi che attraversano l'atmosfera terrestre vi subiscono tali deviazioni d'avvicinarsi all'asse di questo cono. E considerando fra questi raggi quelli che, diretti dapprima secondo le generatrici del cono A B, A' B' (fig. 302),

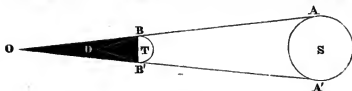



Fig. 302.

penetrano fino agli strati inferiori dell' atmosfera e continuano il loro cammino dopo essere passati vicinissimi alla superficie della terra, si vedrà ch'essi vengono a convergere in un punto D molto più vicino alla terra del punto O. Il cono B D B' formato da questi raggi divide il cono ombroso B O B' in due regioni: l'una interiore al cono B D B', in cui non giunge alcun raggio solare; l'altra esteriore a questo cono B D B', e tutti i punti della quale sono attraversati dai raggi solari che vengono deviati dal loro cammino primitivo per l'azione dell'atmosfera terrestre.

Determinando la distanza del punto D dal centro della terra, trovasi che questa distanza è per termine medio di 42 raggi terrestri: vedesi dunque che la luna non può giammai penetrare nello spazio totalmente privo di luce B D B'; ed all'istante d'un eclisse totale la luna è intieramente contenuta nella porzione del cono ombroso B O B' in cui penetrano i raggi rifratti dall' atmosfera della terra. In un tale eclisse pertanto la luna non perde affatto la sua luce, ma rimane ancora debolmente illuminata dai raggi di cui ora abbiamo parlato.

Osservasi che questa debole luce che conserva la luna negli eclissi totali presenta una tinta rossastra pronunciatissima; in oltre alcuni punti brillanti notati da Herschel in certe parti della superficie dell' astro durante gli eclissi avevangli fatto credere ch'esistessero sulla luna alcuni vulcani in attività; ma in tutto ciò non devesi vedere altro che l' effetto dovuto alla luce del sole che giunge alla superficie della terra dopo aver subito l'influenza dell'aria atmosferica. L'aria intercetta una porzione della luce che l' attraversa, e la riflette in ogni direzione, ciò che dà origine alla luce diffusa; ma quest'azione dell'aria non si eser-

cita ugualmente sulle diverse luci elementari componenti la luce bianca, giacchè i raggi dell'estremo violetto dello spettro solare sono intercettati in maggior numero di quelli dell'estremo rosso; dal che è generato il colore azzurro del cielo a cagione della prevalenza dei raggi della prima specie nella luce diffusa; e da ciò è altresì prodotta la tinta rossastra delle nubi illuminate dal sole all'istante del tramonto di quest'astro, per avere la luce che vi giunge attraversato un considerevole spessore d'atmosfera, in guisa da contenere una proporzione di raggi della seconda specie maggiore in confronto della luce bianca. Comprendesi pertanto che anche la luce che arriva alla superficie della luna durante gli eclissi totali di quest'astro deve avere una tinta rossastra, poichè non vi arriva che dopo di avere attraversato uno strato d'aria atmosferica di considerevole spessore. Questa luce rossa, fortemente riflessa dai vertici di alcune montagne lunari, dà origine ai punti brillanti che Herschel aveva presi per vulcani in attività.

231. Predizione degli eclissi di luna. — Essendo gli eclissi di luna dovuti unicamente alle posizioni occupate dal sole e dalla luna nel cielo l'uno rapporto all'altra, si comprende che, mediante la cognizione delle leggi del moto di questi due astri, possiamo non solo calcolare in anticipazione le epoche alle quali debbono avvenire cotesti fenomeni, ma ancora predire le diverse circostanze ch'essi debbono presentare. Dobbiamo dunque porgere un'idea dell'andamento che si segue per raggiungere questo scopo.

Gli antichi erano lungi dal conoscere le leggi del moto del sole e della luna tanto bene quanto le si conoscono attualmente; ma per mezzo del periodo di 18 anni e 11 giorni, di cui abbiamo parlato (225), erano giunti a predire il ritorno degli eclissi di luna con un grado abbastanza grande d'esattezza. Sappiamo che vi sarebbe eclisse in ogni plenilunio se la luna non uscisse dal piano dell'eclittica; ma gli eclissi di luna sono assai più rari perchè la luna, trovandosi dall'una o dall'altra parte dell'eclittica all'istante in cui è in opposizione col sole, può passare sopra o sotto il cono ombroso della terra senza penetrarvi: non vi ha eclisse che quando, all'istante dell'opposizione, la luna è bastantemente vicina all'eclittica, od anche, il che però torna lo stesso, bastantemente vicina ad uno dei nodi della sua orbita. Se la luna a due diverse epoche, essendo in opposizione col sole, trovasi alla stessa maniera collocata rispetto a'suoi nodi, non può aver luogo un eclisse ad una di queste epoche senza

che un altro affatto simile abbia luogo alla seconda epoca. Ora se, a partire dall'epoca di un eclisse che siasi osservato, s'aspetta che trascorrano 223 lunazioni, si troverà un plenilunio nel quale la luna occuperà, rispetto a' suoi nodi, lo stesso posto che al principio di quest'intervallo di tempo, poichè, durante questo tempo, saranno trascorse 19 rivoluzioni sinodiche dei nodi; dovrassi dunque dopo 223 lunazioni osservare ancora un eclisse simile a quello precedentemente osservato. Si comprende da ciò che basta aver notate le date e le fasi principali degli eclissi di luna avvenuti nel periodo di 223 lunazioni successive per poter predire indefinitamente il ritorno di questi eclissi.

Se 223 lunazioni facessero esattamente 19 rivoluzioni sinodiche dei nodi della luna, non farebbe d'uopo ricorrere ad altri mezzi per predire gli eclissi di luna. Ma noi sappiamo che non è che approssimativa l'uguaglianza tra la durata di 223 lunazioni e quella di 19 rivoluzioni sinodiche dei nodi; per modo che se, mediante il periodo in discorso, si può con certezza predire che un eclisse accadrà a una cert'epoca, non si può con ugual precisione far conoscere nè la quantità nè la durata di quest'eclisse, che realmente differisce alquanto dall'eclisse anteriore al quale esso dovrebbe essere identico se il periodo fosse esatto. Può del pari accadere che un eclisse parziale debolissimo non si riproduca affatto in capo a 18 anni e 11 giorni; come pure che un eclisse parziale succeda 18 anni e 11 giorni dopo un'epoca nella quale non avevasi osservato un fenomeno di simil genere. Così l'uso di questo periodo di 18 anni e 11 giorni, che pur costituiva l'unico mezzo usato dagli antichi nel predire gli eclissi, non può bastare ora che, per mezzo delle teorie astronomiche, si può raggiungere una precisione incomparabilmente maggiore. Questo periodo non è ora più usato che qual mezzo semplicissimo per acquistare una prima nozione sulla serie degli eclissi che dovranno accadere, e dei quali si dovrà poi occuparsi.

Le leggi dei moti dei diversi astri, quali ha potuto fino al presente stabilire la scienza, vennero ridotte dagli astronomi in *tavole*, per mezzo delle quali si può anticipatamente indicare la posizione che deve occupare un astro nel cielo ad un'epoca qualunque futura; e le predizioni degli eclissi di luna si fondano attualmente sui dati somministrati dalle tavole del sole e della luna. D'ordinario però non cercansi questi dati direttamente nelle tavole medesime, ma si calcolano per mezzo di queste tavole; e siccome anticipatamente pubblicansi nelle diverse *Effemeridi astro-*

nomiche tutte le indicazioni risguardanti le posizioni del sole e della luna nel cielo, giorno per giorno per alcuni anni, si approfitta di questo lavoro preliminare; ed è anzi dalle indicazioni fornite dalle *Effemeridi astronomiche* che togliesi tutto quanto è necessario alla determinazione delle diverse circostanze che debbono presentare gli eclissi.

232. Per comprendere come si eseguisca il calcolo d'un eclisse di luna fa d'uopo imaginare che il raggio della sfera celeste (63) venga scelto per modo che la sua superficie passi pel centro della luna: questa sfera, il cui centro supporremo al centro della terra, taglierà la luna secondo un cerchio e il cono ombroso della terra secondo un altro cerchio; ed è dallo studio delle posizioni che assumono questi due cerchi successivamente l'uno rispetto all'altro che si giunge a determinare tutte le circostanze degli eclissi di luna. Il centro del cerchio dell'ombra è sempre diametralmente opposto al centro del sole; è dunque situato sull'eclittica, e vi si sposta progressivamente con una velocità uguale a quella colla quale il centro medesimo del sole percorre la periferia di questo circolo massimo. La periferia del cerchio secondo cui la superficie della luna è tagliata dalla sfera celeste si muove poi per modo che il suo centro rimanga sempre sull'orbita mobile di cui abbiamo parlato (207). Finchè il cerchio dell'ombra e il cerchio della luna rimangono esteriori l'uno all'altro, non v'ha eclisse; esso avviene solo allorchè questi due circoli penetrano l'uno nell'altro; e l'eclisse è totale se il cerchio della luna viene tutto a collocarsi internamente al cerchio dell'ombra.

Per confrontare le posizioni rispettive che assumono successivamente questi due circoli è d'uopo conoscerne le dimensioni.

Sappiamo già che il diametro apparente della luna è uguale, per termine medio, a 31′ 23″,7; il suo valore, che continuamente varia tra 29′ 22″ e 33′ 28″, è somministrato dalle *Effemeridi astronomiche*, per tutti i giorni d'ogni anno a mezzodì e mezzanotte, e per mezzo delle loro indicazioni si può trovarlo per un'epoca qualunque.

Quanto al cerchio dell'ombra, è facile il vedere come se ne possa calcolare il diametro apparente. Sia M N (fig. 303) la superficie della sfera celeste che supponiamo passare pel centro della luna; essa taglia il cono ombroso della terra secondo il cerchio M M′, e l'angolo M T M′ misura il diametro apparente che vogliamo determinare. La metà M T O di questo diametro apparente è uguale all'angolo B M T, che altro non è che la

parallasse della luna (poichè M T è la distanza della luna dalla terra), diminuito dell'angolo M O T; ma l'angolo M O T è an-

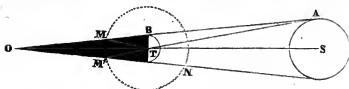



Fig. 303.

ch'esso uguale all'angolo A T S (semi-diametro apparente del sole) diminuito dell'angolo B A T (parallasse del sole): quindi per avere il semi-diametro apparente del cerchio dell'ombra M M' fa d'uopo aggiungere la parallasse del sole a quella della luna e sottrarne il semi-diametro apparente del sole. Trovasi così che questo diametro apparente del cerchio dell'ombra varia tra 1° 15′ 32″ e 1° 31′ 36″; ed il suo valore, per un'epoca qualunque, può ottenersi per mezzo dei valori delle parallassi del sole e della luna e del diametro apparente del sole somministrati dalle *Effemeridi astronomiche.* Aggiungeremo che, a cagione della penombra e della presenza dell'atmosfera, l'ombra della terra sembra avere un diametro alquanto maggiore di quello che si ottiene conformemente a quanto abbiamo ora detto. Perchè le predizioni degli eclissi di luna s'accordino colle osservazioni, Mayer ha trovato che fa uopo aumentare il diametro dell'ombra d'un sessantesimo del suo valore; e gli astronomi solitamente si conformano a questa regola.

Sia A B (fig. 304) il circolo massimo dell'eclittica e C D l'orbita della luna; sarà N uno dei nodi di quest'orbita. L'ombra O

Fig. 304.

muovesi lungo la periferia del primo circolo colla velocità del sole, e la luna L muovesi lungo la periferia del secondo cerchio con una velocità circa 13 volte più grande. Perchè in questo moto comune la luna L venga ad incontrare l'ombra O

fa mestieri che all'istante dell'opposizione della luna il centro dell'ombra sia bastantemente vicino al nodo N. Tenendo conto delle variazioni dei diametri apparenti della luna e dell'ombra da un'epoca all'altra, e notando che la distanza del centro dell'ombra dal nodo N è precisamente uguale alla distanza del centro del sole dall'altro nodo della luna, trovasi: 1.° che se all'epoca d'un plenilunio la distanza del centro del sole dal nodo più vicino è maggiore di 12° 3′ non può aver luogo eclisse; 2.° che se ad una simil epoca la distanza del centro del sole da uno dei nodi della luna è minore di 9° 31′ v'ha certamente eclisse; 3.° infine, che se la distanza del sole da uno dei nodi è compresa tra 9° 31′ e 12° 3′ l'eclisse è dubbio, e il calcolo dettagliato delle circostanze di quest'eclisse mostrerà se realmente abbia luogo.

233. Vediamo ora come si possano determinare le diverse circostanze di un eclisse, e come si calcolino anticipatamente le epoche precise nelle quali accadranno le sue diverse fasi. Il meglio che possiamo fare perciò è dare un esempio di questo genere di calcolo.

Prendiamo l'eclisse dei 13 e 14 novembre 1845. Dalla *Connaissance des temps* si ha che il 13 novembre a mezzodì medio (tempo di Parigi) la longitudine del sole era maggiore di quella della luna di 186° 20′ 7″,1, e che il domani 14, pure a mezzodì medio, la longitudine del sole non era maggiore di quella della luna che di 174° 45′ 8″,6: nell'intervallo deve incontrarsi un istante nel quale la differenza delle due longitudini sia esattamente di 180°; e trovasi facilmente che questo istante, pel quale la luna è in opposizione, corrisponde al 14 novembre ad 1ora 4′ 20″,9 mattina. La *Connaissance des temps* fa vedere che a quest'epoca la longitudine del sole è maggiore di quella di uno dei nodi della luna di circa 5 gradi e mezzo; da quanto abbiamo detto si è dunque certi che la luna penetra nell'ombra della terra, vale a dire che havvi eclisse.

Trovasi, sempre dalla *Connaissance des temps*, che pel momento dell'opposizione

la parallasse della luna è di	55′ 39″,6
la parallasse del sole di	8″,7
il semi-diametro apparente della luna di .	15′ 10″,1
il semi-diametro apparente del sole di . .	16′ 12″,3.

Se ne conclude che il semi-diametro dell'ombra è di 39′ 36″, ovvero 2376″, per modo che aumentandolo d'un sessantesimo del suo valore, per la ragione che abbiamo detto, diviene uguale a 2415″,6.

Trovasi ancora, per mezzo della *Connaissance des temps:* 1.° che il 14 novembre a $0^{ore}\,30'$ mattina l'eccesso della longitudine del sole sopra quella della luna è di 180° 16′ 33″,7 e che la latitudine della luna è di 0° 25′ 57″,6 A; 2.° che lo stesso giorno a $1^{ora}\,30'$ mattina l'eccesso della longitudine del sole su quella della luna è di 179° 47′ 37″,7 e che la latitudine della luna è di 0° 28′ 51″,5 A.

Con tutti questi dati possiamo studiare tutte le circostanze dell'eclisse nel modo che segue. Consideriamo come piana la porzione della sfera celeste sulla quale trovansi la luna e l'ombra della terra per tutta la durata dell'eclisse, ciò che si può fare senza errore sensibilè; supponiamo in oltre che l'ombra della terra sia immobile e che la luna non muovasi che in virtù del moto relativo di cui essa è animata rispetto a quest'ombra. Potremo rappresentare l'ombra della terra col circolo A B C D (fig. 305), sciegliendo il raggio O A di questo circolo per modo

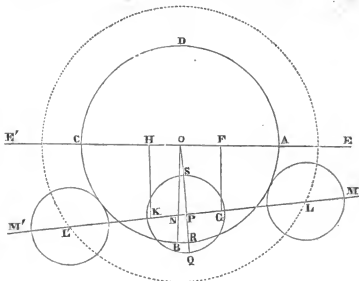



Fig. 305.

che corrisponda al valore del semi-diametro dell'ombra (2415″,6) nella scala adottata nella costruzione della figura: la retta E E′, passante pel centro O di questo circolo, rappresenterà una porzione dell'eclittica.

A 0^{ore} 30′ mattina la longitudine del sole è maggiore di quella della luna di 180° 16′ 33″,7; la longitudine del centro O dell'ombra è maggiore adunque della longitudine della luna soltanto di 16′ 33″,7, ossia di 993″,7. Supponendo che nella nostra figura le longitudini si contino da destra a sinistra, se prendiamo O F uguale a 993″,7 nella scala adottata, il punto F sarà il piede del circolo di latitudine della luna per l'istante di cui si tratta: innalziamo in F la perpendicolare all'eclittica E E′, quindi prendiamo su questa perpendicolare la lunghezza F G uguale a 25′ 57″,6, ossia 1557″,6, che è la latitudine corrispondente della luna, e avremo in G la posizione occupata dal centro della luna a 0^{ore} 30′ mattina.

Prendiamo parimenti O H uguale a 12′ 22″,3, ossia 742″,3, che è l'eccesso della longitudine della luna su quella del centro O dell'ombra a 1^{ora} 30′ mattina; trasportiamo quindi sulla perpendicolare all'eclittica condotta pel punto H la lunghezza H K uguale alla latitudine corrispondente della luna, il cui valore è di 28′ 51″,5, ovvero di 1731″,5; il punto K sarà la posizione del centro della luna ad 1^{ora} 30′ mattina.

Possiamo senza errore sensibile considerare il moto della luna, rapporto all'ombra, come rettilineo ed uniforme per tutta la durata dell'eclisse; in guisa che facendo passare la retta M M′ pei punti G, K, questa rappresenterà il cammino percorso dal centro della luna rispetto al cerchio ombroso A B C D: il punto N, in cui la retta M M′ è incontrata dalla perpendicolare all'eclittica condotta pel punto O, altro non è che la posizione occupata dalla luna all'istante dell'opposizione, vale a dire il 14 novembre ad 1^{ora} 4′ 20″,9 mattina.

Con centro nel punto O e con raggio uguale alla somma dei raggi dell'ombra e della luna, vale a dire uguale a 3325″,7, descriviamo la circonferenza di cerchio, la quale taglierà l'orbita relativa M M′ del centro della luna in due punti L, L′. Dal modo con cui furono ottenuti questi due punti è evidente che se da ognuno d'essi come centro, col raggio della luna di 910″,1, si descrive una circonferenza di cerchio, queste due circonferenze saranno tangenti alla circonferenza dell'ombra A B C D, e rappresenteranno per conseguenza le due posizioni della luna corrispondenti al principio ed alla fine dell'eclisse. Se in oltre s'abbassa dal punto O la perpendicolare sopra M M′, il suo piede P sarà la posizione del centro della luna all'istante del mezzo dell'eclisse.

La luna impiega un'ora a passare da G in K; e dal rapporto che esiste tra le due rette N P, G K, le cui lunghezze si pos-

sono misurare sulla figura, trovasi che la luna deve impiegare 5′ 40″, 8 a percorrere la distanza N P; il mezzo dell'eclisse pertanto deve aver luogo a 5′ 40″,8 prima dell'opposizione, vale a dire a 0^{ore} 58′ 40″,1 mattina. Trovasi parimente che la luna deve impiegare 1^{ora} 39′ 19″,4 a percorrere l'una o l'altra delle due distanze uguali L P, P L′; per cui il principio dell'eclisse ha luogo il 13 novembre a 11^{ore} 19′ 20″,7 sera, e la fine il 14 novembre a 2^{ore} 37′ 59″,5 mattina.

Descrivendo la circonferenza di cerchio dal punto P come centro e col raggio della luna, si riconosce subito se l'eclisse è totale o parziale. Qui si vede che è parziale, perchè all'istante in cui il centro della luna è in maggior vicinanza del centro dell'ombra, una porzione del suo disco trovasi ancora fuori del cerchio dell'ombra. Che se si conduce il diametro Q S diretto verso il punto O, e si determina il rapporto che esiste tra la porzione R S di questo diametro, che è compresa nell'ombra, e il diametro medesimo, questo rapporto dicesi la *grandezza dell'eclisse:* nell'esempio particolare che qui trattiamo la grandezza dell'eclisse è di 0,92; d'ordinario questa grandezza viene espressa in *digiti*. Perciò s'imagina che il diametro Q S sia diviso in 12 parti uguali o digiti, e s'indica quante di queste parti sono contenute in R S; la frazione 0,92 essendo press'a poco uguale a $\frac{11}{12}$, si dice che la grandezza dell'eclisse dei giorni 13 e 14 novembre 1845 è di 11 digiti.

Se il diametro Q S fosse tutto nell'interno del cerchio dell'ombra, nel qual caso l'eclisse sarebbe totale, si determinerebbero il principio e la fine dell'eclisse totale cercando le posizioni della luna nelle quali il suo disco è internamente tangente alla periferia del cerchio dell'ombra. La ricerca di queste due particolari posizioni si eseguirebbe tanto facilmente quanto quella delle posizioni L, L′, nelle quali le circonferenze del disco della luna e del cerchio dell'ombra sono tangenti esternamente.

In tutto quanto precede abbiamo supposto che la determinazione delle diverse circostanze dell'eclisse si compiesse mediante la costruzione grafica della figura 505, e mediante la misura di certe lunghezze sopra questa figura. Si comprende che a questi mezzi poco esatti si possono sostituire metodi di calcolo corrispondenti e capaci di molto maggiore precisione delle operazioni grafiche; il che è quanto si fa realmente, seguendo per altro in tutto l'andamento che abbiamo spiegato.

Per compiere l'indicazione di tutto quanto si riferisce all'eclisse preso ad esempio, più non rimane che far conoscere

i luoghi della terra in cui quest' eclisse è visibile. Cerchiamo da prima i luoghi donde si potrà vedere l'eclisse all'istante in cui il fenomeno raggiunge il massimo di sua intensità. Abbiamo trovato che il mezzo dell' eclisse ha luogo il 14 novembre a $0^{ore}\,58'\,40''$ mattina (tempo medio di Parigi): tenendo conto dell'equazione del tempo (184), che per quest'istante è di $15'\,27''$, si vede che il mezzo dell'eclisse corrisponde a $1^{ora}\,14'\,7''$ di tempo vero. Considerando il punto della terra in cui la luna in quest' istante è allo zenit, si riconoscerà facilmente che per questo punto è mezzanotte, e che per conseguenza la sua longitudine all'ovest del meridiano di Parigi è di $18°\,31'\,45''$. Quanto alla latitudine di questo punto, essa è uguale alla declinazione del centro della luna pel medesimo istante, declinazione che secondo la *Connaissance des temps* è di $17°\,42'\,17''$ B. Basta quindi imaginare divisa la superficie della terra in due emisferi mediante un piano condotto perpendicolarmente al raggio che va a terminare al punto la cui longitudine è di $18°\,31'\,45''$ O, e la cui latitudine è $17°\,42'\,17''$ B, e il mezzo dell'eclisse sarà visibile per tutti i punti della terra situati sopra uno di questi emisferi, e invisibile per tutti i punti situati sull'altro. Ciò che abbiamo fatto pel mezzo dell'eclisse potremmo ripeterlo pel principio e per la fine, e troveremmo così tutti i luoghi donde si vedrebbe l'eclisse sia intieramente, sia soltanto in parte. È facile da ciò il concludere che i luoghi da dove si può vedere un eclisse di luna per tutta o per una parte soltanto della durata di questo fenomeno occupano più della metà della superficie del globo terrestre.

Perchè si possa vedere un eclisse di luna è d'uopo che tanto la luna quanto l'ombra della terra, o almeno una parte di quest'ombra, siano al di sopra dell'orizzonte; ora ciò non può aver luogo se il sole non trovasi sotto l'orizzonte, per cui gli eclissi di luna non si possono vedere che durante la notte. V'hanno per altro certe particolari circostanze nelle quali si può vedere un eclisse di luna per alcuni istanti prima del tramonto del sole o dopo il

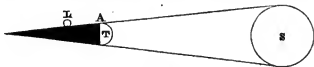



Fig. 306.

suo nascere. Se per esempio ci troviamo in un punto come A (fig. 306) all'istante in cui l'eclisse comincia, il sole sarà tutto

sotto l'orizzonte, e la parte della luna che trovasi nel cono ombroso vi sarà parimente; ma la rifrazione atmosferica, sollevando i due astri al di sopra dell'orizzonte, farà sì che si possano vedere da una parte il sole e dall'altra la porzione eclissata della luna.

234. Eclissi di sole. — Abbiamo detto che gli eclissi di sole sono dovuti all'interposizione della luna fra il sole e la terra: ed è chiaro che, occorrendo una tal circostanza, la luna deve togliere ai nostri sguardi una parte maggiore o minore del disco del sole. Cerchiamo da prima di riconoscere se la luna può coprirlo totalmente.

Seguendo un andamento affatto simile a quello già seguito per gli eclissi di luna (227), potremo trovare la lunghezza del cono ombroso che la luna projetta dalla parte opposta a quella del sole. Confrontiamo adunque questa lunghezza O L (fig. 307),

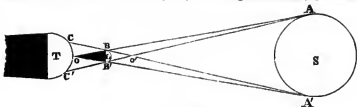



Fig. 307.

calcolata pel caso in cui la luna L trovasi esattamente tra il sole S e la terra T, colla distanza L T che nello stesso tempo esiste tra il centro della terra e il centro della luna. Preso per unità il raggio della terra, il più piccolo valore della distanza L T è uguale a 55,947 (202); d'altra parte il più gran valore della distanza O L del vertice del cono ombroso dal centro della luna è di 59,73; dunque nelle circostanze alle quali corrispondono questi valori di L T ed O L, l'ombra della luna stendesi fino alla terra e al di là (fig. 308). Per ogni punto compreso nella

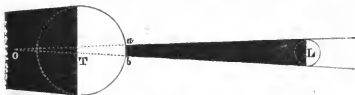



Fig. 308.

porzione *a b* della superficie della terra la luna copre intieramente il sole, ed allora v'ha *eclisse totale*. Ma se d'altra parte

si cerca il più piccolo valore della lunghezza O L del cono ombroso della luna, trovasi essere desso uguale a 57,76, e la più grande distanza del centro della luna dal centro della terra è di 63,802: occorrendo queste circostanze, il cono ombroso della luna non stendesi fino alla terra (fig. 309), ed in questo caso non v'ha eclisse totale per nessun punto della superficie della terra; ma da tutti i punti dell' emisfero terrestre che è rivolto verso il sole si scorge una porzione, se non la totalità, del disco di quest'astro. Bisogna per altro notare una particolarità, ed è che prolungando il cono ombroso della luna al di là del suo vertice O (fig. 309), la seconda falda di questo cono intercetterà

Fig. 309.

nel suo interno una certa porzione *c d* della superficie della terra, per tutti i punti della quale avrà luogo un *eclisse anulare*: da ciascuno di questi punti si vedrà quindi la luna projettarsi come un cerchio nero sul mezzo del disco del sole, e la porzione eccedente di questo disco formerà un anello luminoso tutto intorno a questo cerchio. Così quando la luna viene a collocarsi tra il sole e la terra, vi ha eclisse totale o anulare per certi punti della terra, secondo che le distanze del sole e della luna dalla terra sono più o meno grandi.

Si può giungere ancora allo stesso risultato per mezzo di altre considerazioni. Se all'istante in cui la luna passa davanti al sole il suo diametro apparente è maggiore di quello di quest'ultimo astro, essa potrà intieramente coprirlo e vi sarà eclisse totale; ed è facile il vedere che può bene incontrarsi una tal circostanza, poichè il più gran valore del diametro apparente della luna veduta dalla superficie della terra è di 34′ 6″, e il più piccolo valore del diametro apparente del sole è solamente di 31′ 31″. Se al contrario il diametro apparente della luna è più piccolo di quello del sole, la luna non potrà coprire tutto il disco di quest' ultimo astro; questo disco oltrepasserà tutto intorno la luna, e ne risulterà un eclisse anulare; ciò che pure può accadere benissimo, poichè il diametro apparente della luna ve-

duta dalla superficie della terra può ridursi a 29′ 22″ e quello del sole può raggiungere il valore di 32′ 35″,6. In quest'ultimo caso a chi si trova in un punto della terra dal quale i centri dei due astri sembrano coincidere in un certo istante il disco del sole deve presentarsi sotto la forma indicata dalla figura 310.

235. Nello stesso tempo che per alcuni punti della superficie della terra v'ha eclisse totale od anulare, v'ha *eclisse parziale* per un gran numero d'altri punti. Imaginiamo intorno al sole ed alla luna un cono analogo a quello che ci ha servito a trovare la penombra negli eclissi di luna (229); è facile il vedere che per ogni punto della terra situato nell'interno della falda C O′ C′ di questo cono (fig. 307), e non compreso nel cono ombroso B O B′ o nel suo prolungamento, deve aver luogo un eclisse parziale di sole; da un tal punto cioè devesi vedere la luna projettarsi sopra una porzione del disco del sole, producendovi un incavo circolare(fig. 311), e la parte di questo disco che rimane coperta dalla luna dev'essere tanto maggiore quanto più il punto donde osservansi i due astri è lontano dalla superficie del cono C O′C′ e più vicina a quella del cono ombroso B O B′.

Fig. 310.

Fig. 311.

Le dimensioni trasversali del cono C O′C′ in vicinanza della terra non sono tanto grandi da potere il globo terrestre essere tutto contenuto nel suo interno. Per rendercene conto in modo affatto semplice osserviamo che, a cagione della piccolezza della luna rispetto al sole, per cui le distanze O L, O′ L sono piccolissime rispetto alla distanza L S e sensibilmente uguali fra loro, gli angoli B O B′, B O′ B′ hanno press'a poco la stessa grandezza; osserviamo in oltre che la lunghezza O L del cono ombroso della luna essendo per termine medio press'a poco uguale alla distanza L T della luna dalla terra, l'angolo B O B′ non differisce molto dal diametro apparente della luna veduta dalla terra, per modo che si può considerare l'angolo B O′ B′ come uguale a questo diametro apparente. Ora, essendo O′ T sensi-

bilmente il doppio di O' L, le dimensioni trasversali del cono C O'C' in vicinanza alla terra T devono essere circa il doppio di quelle che trovansi in vicinanza alla luna L: converrebbe dunque che il diametro della terra fosse soltanto il doppio di quello della luna perchè il globo terrestre potesse essere contenuto nel cono C O' C' toccandolo per tutto il suo contorno. Al contrario noi sappiamo che il diametro della terra è quasi quattro volte più grande di quello della luna (205); quindi il cono C O' C' non può giammai contenere nel suo interno che una porzione dell'emisfero terrestre che è rivolto verso il sole. Risulta da ciò che, mentre da alcuni luoghi della terra vedesi un eclisse di sole, v' ha un gran numero d'altri luoghi donde vedesi l'intiero disco del sole senz'alcuna apparenza d'eclisse.

236. La luna si sposta sulla sfera celeste con una velocità circa tredici volte maggiore di quella del sole; ed è a cagione di questo moto relativo che il primo astro s'avvicina e s'allontana alternatamente dal secondo, e che a certe epoche passa davanti al suo disco in guisa da produrre gli eclissi di sole. Riflettendovi alquanto, si trovano facilmente le diverse particolarità che deve presentare uno di questi eclissi ad un osservatore collocato sulla terra e che segue le diverse fasi del fenomeno. Queste particolarità sono in tutto analoghe a quelle che abbiamo trovato relativamente agli eclissi di luna, mediante la considerazione del moto della luna rispetto all'ombra della terra.

L'eclisse comincia all'istante in cui il disco della luna giunge a toccare il disco del sole; allora la luna a poco a poco viene a sovrapporsi al sole, e ne toglie a' nostri sguardi una maggiore o minore porzione. Se il centro della luna nel suo moto relativo non passa tanto vicino al centro del sole che la distanza di questi due punti diventi minore della differenza dei raggi apparenti dei due astri, l'eclisse è parziale. Quando la distanza dei centri ha raggiunto il minimo valore ch'essa possa assumere, l'eclisse ha il suo massimo d'intensità: a partire da questo punto, continuando la luna sempre nel suo moto, la porzione del sole che da essa è nascosta va progressivamente diminuendo, e l'eclisse ha fine all'istante in cui il disco della luna torna ad essere tangente al disco del sole.

Se la distanza del centro della luna dal centro del sole può tanto diminuire da diventar minore della differenza tra i raggi apparenti dei dischi dei due astri, l'eclisse è totale o anulare; totale se il diametro apparente della luna veduta dal luogo in cui la si osserva è maggiore di quello del sole; anulare se il

contrario ha luogo. Nell'uno e nell'altro caso la luna comincia dal coprire una porzione del disco del sole, la quale va sempre più ingrandendosi: l'eclisse totale o anulare ha principio all'istante in cui la distanza dei centri dei due dischi diviene uguale alla differenza dei loro raggi apparenti, la qual circostanza fa sì che le circonferenze di questi dischi risultino internamente tangenti. In capo a qualche tempo, dopo che i centri si sono ancor più avvicinati e quindi hanno cominciato ad allontanarsi, la loro distanza ritorna uguale a questa differenza dei raggi ed ha termine l'eclisse totale o anulare. Finalmente continuando sempre la luna ad allontanarsi dal sole, quest' ultimo astro a poco a poco si scopre, finchè i due dischi ritornano esternamente tangenti, ciò che determina la fine dell' eclisse.

Il calcolo mostra che la maggior durata possibile d'un eclisse di sole è di 4ore 29′ 44″ per un luogo situato sull' equatore, e di 3ore 26′ 32″ sul parallelo di Parigi: negli eclissi totali la luna non può nascondere totalmente il sole per più di 7′ 58″ all'equatore, e di 6′ 10″ alla latitudine di Parigi: negli eclissi anulari la luna non può projettarsi tutta sul disco del sole per più di 12′ 24″ all'equatore, e di 9′ 56″ alla latitudine di Parigi. Comprendesi per altro che le durate di questi fenomeni possono passare per tutti gli stati di grandezza al di sotto dei limiti ora assegnati.

257. Con uguale facilità, in luogo di esaminare le diverse fasi d'un eclisse di sole che avvengono per un osservatore situato in un luogo determinato, ci possiamo spiegare le particolarità che il fenomeno deve presentare in generale su tutta la superficie della terra. A tal uopo fa mestieri immaginare che la luna, muovendosi intorno alla terra, seco trasporti i coni d'ombra e penombra B O B′, C O′ C′ (fig. 307), di cui abbiamo precedentemente parlato. Quando, in conseguenza di questo movimento, il cono della penombra giunge a toccare la superficie della terra (fig. 312), l'eclisse comincia pel punto in cui si produce il contatto delle due superficie. Appena avvenuto questo contatto, il cono della penombra, continuando sempre nel suo moto, copre una parte ognor più grande del globo terrestre; ben presto anche il cono ombroso giunge a toccare la superficie della terra, ed è nel punto di questo contatto che si

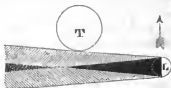



Fig. 312.

comincia ad osservare un eclisse totale ovvero un eclisse anulare, secondo che la terra è incontrata dallo stesso cono ombroso, ovvero soltanto dal suo prolungamento. Muovendosi così insieme questi due coni d'ombra e penombra, vengono successivamente a coprire diverse parti del globo; a misura ch'essi s'avvanzano, incontrano nuove regioni ed abbandonano quelle che prima avevano raggiunte; in capo a qualche tempo il cono ombroso, e quindi il cono della penombra, ritornano l'un dopo l'altro tangenti alla superficie del globo, e gl'istanti ne' quali hanno luogo questi contatti segnano uno la fine dell'eclisse totale o anulare, l'altro la fine dell'eclisse parziale.

Talvolta si formano nella nostra atmosfera delle nubi isolate e poco estese che projettano la loro ombra sul suolo in mezzo a pianure, di cui le altre parti sono tutte direttamente illuminate dal sole: queste nubi essendo di solito in moto, vedesi la loro ombra correre sulla terra e spesso con grande rapidità. Gli è precisamente nello stesso modo che negli eclissi totali di sole l'ombra della luna corre sulla superficie del globo terrestre, da un lembo all'altro dell'emisfero illuminato dal sole.

D'ordinario gli astronomi determinano anticipatamente le circostanze generali che ogni eclisse di sole deve presentare su tutta la superficie della terra; e per poter abbracciare d'un colpo d'occhio i diversi risultati che ottengono, costruiscono una carta destinata a mostrare l'andamento dell'eclisse sul globo. La figura 313 fa vedere quale sia la disposizione di tali carte; essa si riferisce all'eclisso anulare del 1.° aprile 1764. La linea A B C passa per tutti i punti in cui l'eclisse ebbe principio all'istante medesimo del nascere del sole, e la linea A D C per quelli in cui al nascere del sole ebbe fine l'eclisse; per tutti i punti situati sulla linea A E C, intermedia alle due precedenti, il sole è sorto a mezzo dell'eclisse. Parimenti le linee A F G, A H G, A I G passano respettivamente per tutti i punti pei quali il tramonto del sole ebbe luogo al principio, alla fine ed al mezzo dell'eclisse. La stretta zona L L, rappresentata da tre linee curve parallele, è il preciso cammino del prolungamento del cono ombroso della luna che si muove al modo che abbiamo spiegato. Si vede esser questo cono passato al nord delle isole del Capo Verde, sulle isole Canarie ed al sud di Madera: aver toccato appena la costa di Marocco, ed aver quindi attraversato il Portogallo, la Spagna, la Francia, i Paesi Bassi, la Danimarca, la Svezia, la Lapponia, la Nuova Zembla: l'eclisse fu pertanto anulare a Lisbona, a Madrid, a Parigi. Dall'una e dall'altra

parte della zona L L non venne osservato che un eclisse parziale, sempre più debole a misura che i punti erano più lontani

Fig. 313.

da questo cammino dell' eclisse anulare. Su tutti i punti della linea M M l'eclisse non fu che di 9 digiti (233); lungo la linea N N non fu che di 7 digiti; parimente l'eclisse fu di 9 digiti lungo tutta la linea P P, di 6 digiti lungo tutta la linea Q Q, di 3 digiti lungo tutta la linea R R; e non vi ebbe che un semplice contatto dei lembi del sole e della luna, senza eclisse, lungo la linea C S G: al di là di quest'ultima linea non vi ebbe eclisse malgrado la presenza del sole sopra l'orizzonte.

238. Il periodo di 18 anni e 11 giorni, in capo al quale la luna riprende le medesime posizioni rispetto a' suoi nodi ed al sole, fa il medesimo ufficio per gli eclissi di sole che per gli eclissi di luna. Gli eclissi di sole osservati in un tale periodo

si riproducono nel medesimo numero e ad epoche corrispondenti nel successivo periodo; avvengono per altro a poco a poco alcuni cambiamenti, essendo che 223 lunazioni non fanno esattamente 19 rivoluzioni sinodiche dei nodi. L'osservazione ha mostrato che, in termine medio, nel periodo di 18 anni e 11 giorni vi hanno 70 eclissi, dei quali 29 di luna e 41 di sole. In un anno non avvengono mai più di 7 eclissi, e giammai meno di due: quando non ve n' ha che due, sono amendue di sole.

È agevole il comprendere perchè gli eclissi di sole sieno più frequenti degli eclissi di luna. Considerando infatti il cono A O A' (fig. 314) che avvolge il sole e la terra, è noto esser d'uopo che la

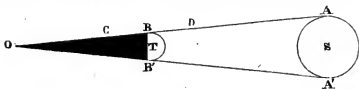



Fig. 314.

luna penetri all'interno di questo cono in C perchè abbia luogo eclisse di luna; ma con ugual facilità si riconosce essere d'uopo ch'essa penetri nello stesso cono in D perchè avvenga eclisse di sole in alcuni luoghi della terra: ora, le dimensioni trasversali di questo cono essendo maggiori in D che in C, risulta di necessità che la luna deve più spesso raggiungerne la superficie verso il primo punto che verso il secondo, e per conseguenza gli eclissi di sole debbono essere più frequenti degli eclissi di luna.

Non bisogna però credere che in un luogo determinato veggansi più eclissi di sole che eclissi di luna. Un eclisse di luna è visibile da più che da un emisfero della terra (253); al contrario un eclisse di sole non è visibile che in una porzione d'emisfero, e talvolta in una porzione assai piccola. Per questa circostanza avviene che il numero degli eclissi di luna visibili in un dato luogo è più grande del numero degli eclissi di sole che vi si possono osservare, malgrado la maggior frequenza di questi ultimi, considerati su tutta la superficie del globo terrestre. Si può persuadersene del resto osservando che il diametro apparente dell'ombra della terra, presa alla distanza della luna (252), è molto più grande del diametro apparente del sole, e in conseguenza deve accadere più spesso che la luna osservata da un luogo determinato della terra raggiunga l'ombra della terra che non il disco del sole.

Quanto agli eclissi totali di sole, sono essi rarissimi in ogni luogo, come si comprende subito riflettendo alla piccolezza dell'ombra projettata dalla luna sulla terra; e la porzione della terra che successivamente è coperta da quest'ombra non è che una piccolissima frazione dello spazio totale donde può essere osservato l'eclisse di sole. A Parigi, per esempio, non vi fu che un eclisse totale di sole nel secolo XVIII, quello del 1724; non ve n'ebbe ancora dal principio del secolo XIX, e non ve ne sarà fino alla fine. A Londra trascorsero 575 anni senza osservarne un solo, dall'anno 1140 fino al 1715; dall'eclisse del 1715 non ne venne osservato altro in questa città (*).

(*) A Milano si ebbe un eclisse totale di sole il giorno 8 luglio 1842: la totale oscurazione ebbe principio alle 6ore 15′ 31″, 4 mattina, e fine alle 6ore 17′ 45″, 7 (tempo medio). La zona della totale oscurità, venendo dal mare Atlantico, attraversò il Portogallo, la Spagna, il sud-est della Francia, l'Italia settentrionale, parte dell'Austria, dell'Ungheria, della Polonia, della Russia meridionale, e proseguendo quindi nell'Asia centrale per la Tartaria e la China, ebbe termine nel grande Oceano oltre le isole Marianne. A Parigi la fase fu di digiti 10 ½.

Un altro eclisse totale di sole fu visibile in Europa il 28 luglio 1851: si ebbe la fase totale nella parte meridionale della Norvegia e della Svezia, in Russia e Turchia; a Milano non si ebbe che la fase di 9 digiti.

Nel seguente prospetto si hanno i sei eclissi totali che saranno visibili in Europa in tutto il corrente secolo:

ANNI	GIORNI	ORA del novilunio per Milano.	FASE dell'eclisse a Milano.	LUOGHI ove l'eclisse sarà totale.
1860	18 luglio.	2 ½ sera.	9 digiti.	Estremità Nord d'America, Spagna, Africa N., ec.
1861	31 dicembre.	3 sera.	7	Oceano Atlantico, Deserto di Sahara, Mediterraneo, Morea, ec.
1870	22 dicembre	1 sera.	10 ½	Azzorre, Spagna S., Algeria, Sicilia, Turchia, ec.
1887	19 agosto.	6 ½ matt.	10 ½	Germania N.E., Russia S., Asia Centrale, ec.
1896	9 agosto.	5 matt.	7	Groenlandia, Lapponia, Siberia.
1900	28 maggio.	4 sera.	9	Stati Uniti, Oceano Atlantico, Spagna, Algeria, Egitto.

La grandezza degli eclissi di sole, come quella degli eclissi di luna, si esprime in *digiti*, essendo il digito la dodicesima parte del diametro solare. Per altro questa maniera di rappresentare la grandezza di un eclisse

259. Gli eclissi totali di sole sono fenomeni notevolissimi che destano sempre la meraviglia negli uomini, molto più che si osservano assai di rado. La súbita disparizione dell'astro a cui dobbiamo la luce, che ci fa godere di tutte le bellezze della natura, e il calore, senza cui non potremmo esistere, è ben tal fenomeno da mettere spavento in chiunque non sappia spiegarsene la cagione. Conosciuta questa causa, e quando si sappia che l'astro del giorno non iscompare che per alcuni minuti, in capo ai quali deve mostrarsi di nuovo altrettanto raggiante quanto lo era dapprima, non è più possibile lo spavento; ciò nullameno all'istante in cui si cessa affatto dal ricevere i raggi del sole provasi involontariamente un vago senso di timore. In ogni caso poi la curiosità è vivamente eccitata dalle circostanze che presenta questo maraviglioso spettacolo.

Mentre il sole è tutto coperto dalla luna, scorgesi regnare intorno una certa oscurità che sembra intensissima, poichè ci arriva quasi repentinamente, ma che però molto differisce dall'oscurità della notte. Il cono ombroso della luna, benchè si estenda ad una certa distanza tutto intorno al luogo ove ci troviamo, non può tutto comprendere nel suo interno la parte dell'atmosfera che è sopra all'orizzonte; ma intorno ad esso rimane una massa considerevole d'aria la quale riceve direttamente i raggi del sole, e li rimanda nelle regioni della terra in cui si os-

non può dare una giusta idea del rapporto tra la superficie eclissata del sole e la sua superficie totale, il qual rapporto dipende altresì dalla grandezza dei diametri apparenti del sole e della luna. Supponendo che questi diametri apparenti sieno uguali, giacchè in ogni caso differiscono poco fra loro, la corrispondenza fra la grandezza dell'eclisse espressa in digiti e la quantità della superficie del sole eclissata rapporto alla totale sua superficie è data dalla seguente tavoletta:

FASE dell'eclisse in digiti.	SUPERFICIE eclissata.	FASE dell'eclisse in digiti.	SUPERFICIE eclissata.
1	0,03	7	0,48
2	0,08	8	0,58
3	0,14	9	0,68
4	0,22	10	0,79
5	0,30	11	0,89
6	0,39	12	1,00

serva l'eclisse totale: ne risulta quindi una specie di crepuscolo in luogo d'una completa oscurità. Le stelle più brillanti e i principali pianeti divengono visibili nel cielo; la temperatura dell'aria s'abbassa rapidamente d'alcuni gradi; gli animali manifestano anch'essi spavento, e molti si comportano come sogliono al principiar della notte.

Per tutta la durata dell'eclisse totale vedesi intorno al sole ed alla luna una corona luminosa, di cui la fig. 315 può dare

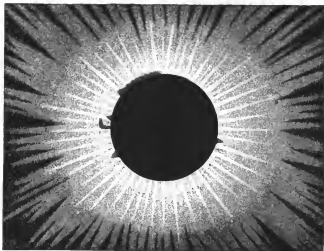



Fig. 315.

un'idea; la luna si projetta come un cerchio nero in mezzo alla corona. Fu mossa quistione se quest'aureola di luce fosse dovuta ad un'atmosfera che circondasse il sole e che pel vivo splendore dell'astro non si potesse solitamente discernere; ovvero se dipendesse dalla presenza di un'atmosfera rarissima appartenente alla luna. Per risolvere una tal quistione si cercò di riconoscere se la corona luminosa segue la luna nello spostamento che questa prova continuamente rispetto al sole per tutta la durata dell'eclisse, ovvero se essa rimane indietro rispetto alla luna, conservando pur sempre la stessa posizione rispetto al sole. Ma finora l'osservazione non potè guidare a un risultato decisivo su questo argomento.

Durante l'eclisse totale dell'8 luglio 1842, che fu visibile nel mezzodì della Francia (*), all'istante in cui gli astronomi si dispo-

(*) Vedi la nota antecedente.

nevano ad osservare accuratamente se la corona luminosa apparisse appartenere al sole od alla luna, la loro attenzione venne attirata da un fenomeno impreveduto, giacchè mostraronsi sul contorno della luna delle protuberanze d'un rosso violaceo, come veggonsi nella figura 315. Nulla si sa della causa di queste protuberanze, che vennero vedute da più astronomi e in diversi luoghi: furono emesse riguardo ad esse molte idee, senza potere positivamente fermarsi sopra di alcuna. Se fossero, per esempio, dovute a montagne del sole, ciò che è pochissimo probabile, queste montagne dovrebbero avere altezze prodigiose, come si può giudicare dall'esatta figura che qui ne venne data.

240. Tanto gli eclissi parziali di sole, come le fasi degli eclissi totali che precedono e seguono il tempo in cui la luna copre totalmente il sole, sono ben lontani dal produrre effetti tanto segnalati al pari degli eclissi totali. Quando un eclisse parziale è alquanto grande, la luce inviata dal sole diminuisce in modo sensibilissimo, sebbene tutto apparisca molto rischiarato, finchè qualche porzione del sole emerge fuori del disco lunare.

È impossibile osservare ad occhio nudo il sole per seguire le diverse fasi d'un eclisse parziale; non lo si può fare che ponendo davanti agli occhi un vetro colorato od anche un vetro bianco preventivamente ricoperto di nero fumo col farlo passare sulla fiamma d'una candela.

Presentando al sole, durante un eclisse parziale, una sottil lamina di metallo, ovvero una carta in cui siasi praticato un piccolo foro con uno spillo, e quindi collocandovi dietro uno schermo destinato a ricevere i raggi solari che attraversano il foro, vedesi sopra questo schermo un'imagine del disco del sole coll'incavo prodotto dall'interposizione della luna. Basta riferirsi a quanto abbiamo detto al num. **120** per comprendere che così deve accadere; la forma del piccolo spazio luminoso che producono sullo schermo i raggi inviati dal sole attraverso il foro della carta, dipende unicamente dalla forma che affetta l'astro, e per nulla da quella del foro, purchè sia piccolo. Con ciò si ha anche un mezzo semplicissimo per seguire senza difficoltà le diverse fasi d'un eclisse di sole.

Il fogliame degli alberi lascia sovente passare alcuni raggi di sole che vanno ad illuminare certe parti del suolo frammezzo all'ombra prodotta dallo stesso fogliame. Gl'interstizii delle foglie fanno allora la vece del piccolo foro praticato nella carta, e ne risulta che le parti del suolo illuminate dai raggi che attraversano questi interstizii assumono una forma che dipende da

quella del disco del sole: essendo questo disco circolare, e i raggi pervenendo sul suolo obbliquamente, queste parti illuminate sono d'ordinario ellittiche (fig. 316). Durante gli eclissi di sole l'incavo più o meno pronunciato del disco dell'astro si ri-

Fig. 316.

produce in questi spazii illuminati frammezzo all'ombra, i quali assumono la forma d'ellissi aventi tutte un incavo dalla stessa parte e della stessa quantità (fig. 317). Questa particolarità che presenta l'ombra degli alberi durante gli eclissi è pronunciatissima, e per poco che vi si faccia attenzione è difficile il non notarla, anche non essendone prevenuti.

241. Predizione degli eclissi di sole. — Parrebbe che il periodo di 18 anni ed 11 giorni che serviva agli antichi astronomi a predire il ritorno degli eclissi di luna potesse parimenti servire alla predizione degli eclissi di sole; ma invece ciò non ha luogo. Questo periodo può ben servire a indicare in prevenzione che ad una cert'epoca vi sarà un eclisse di sole, ma non può per nulla far sapere se l'eclisse sarà o no visibile in un luogo determinato; e nel caso in cui l'eclisse fosse

visibile, non può far conoscere il grado d'importanza che deve avere.

Questa differenza deriva da ciò, che gli eclissi di sole e quelli di luna non sono fenomeni della stessa natura. Un eclisse di

Fig. 317.

luna è dovuto a ciò, che la luna perde realmente la sua luce; un tale eclisse è visibile da tutti i punti pei quali la luna trovasi sopra l'orizzonte, e da per tutto si presenta collo stesso carattere d'intensità. In un eclisse di sole al contrario il sole nulla perde della sua luce: la luna, frapponendosi fra esso e la terra, toglie una porzione del suo disco agli osservatori, e questa porzione del disco che viene nascosta dalla luna è più o meno grande secondo la posizione dell'osservatore sulla terra. Siccome non è affatto rigoroso il periodo di 18 anni e 11 giorni, e inoltre per la rotazione della terra sopra sè stessa vengono successivamente diversi luoghi del globo a porsi nella direzione del cono ombroso della luna, così si riconosce che gli eclissi di sole che accadono in un determinato luogo nel periodo di 18 anni e 11 giorni possono non corrispondere in nessun modo a quelli che ven-

nero osservati in un intervallo di tempo della stessa durata e che precedette immediatamente quello di cui si tratta. Gli antichi pertanto che non conoscevano con bastante esattezza i moti degli astri per giungere con altri mezzi alla predizione degli eclissi, si limitarono sempre a predire gli eclissi di luna; non avendo potuto trovare tra i ritorni successivi degli eclissi di sole per un luogo determinato alcuna legge che potesse metterli in grado di fare per questi eclissi quanto facevano per gli eclissi di luna.

Al presente si possono predire colla stessa facilità tanto gli eclissi di sole che quelli di luna; solo che i calcoli da eseguirsi per determinarne le diverse circostanze sono molto più numerosi pei primi che per questi ultimi eclissi, il che facilmente si comprenderà osservando che un eclisse di luna è lo stesso per tutti i punti della terra donde si può vedere la luna, mentre un eclisse di sole si presenta con caratteri differenti nei diversi luoghi donde è visibile; ciò che trae seco una grande complicazione, quando si voglia conoscere l'andamento dell'eclisse per le diverse parti del globo. Ma volendosi anche limitare alla ricerca delle circostanze che deve presentare un eclisse di sole in un luogo particolare, si avrebbero a fare molto più calcoli che non occorrano per un eclisse di luna. Infatti, le parallassi della luna e del sole hanno una parte importantissima negli eclissi di sole, poichè dal centro della terra si vedrebbero generalmente i due astri occupare nel cielo posizioni differenti; e da questo punto l'eclisse potrebbe essere tutto diverso da quello che corrisponde al luogo in cui ci troviamo collocati. Ora, la parallasse d'altezza della luna, per la quale si passa dalla posizione dell'astro veduto dal centro della terra alla posizione in cui lo si vede dal luogo d'osservazione, varia considerevolmente nelle diverse ore d'una stessa giornata, e per conseguenza in tutta la durata dell'eclisse che ne occupa. La parallasse d'altezza di cui si fa uso per trovare il principio dell'eclisse non è dunque quella medesima che deve servire alla determinazione del mezzo e della fine del fenomeno; e per questa circostanza si è costretti a fare assai più calcoli che per un eclisse di luna, sebbene questi calcoli non presentino maggiore difficoltà che in quest'ultimo caso.

Non daremo alcun esempio della ricerca delle diverse particolarità che deve presentare un eclisse di sole in un luogo determinato, come abbiamo fatto per un eclisse di luna, poichè ciò ne trarrebbe troppo lungi; ci limiteremo quindi a dire che si giunge a trovare l'istante in cui l'eclisse comincia, l'istante

in cui finisce, l'istante in cui il fenomeno è al suo massimo d'intensità, ecc., paragonando le posizioni che i dischi della luna e del sole devono occupare nel cielo l'uno rispetto all'altro ad epoche fra loro molto vicine, per esempio di dieci in dieci minuti.

Aggiungeremo ancora che nella ricerca delle posizioni apparenti del sole e della luna nel cielo, corrispondenti ad un istante qualunque, si tiene esatto conto delle parallassi d'altezza degli astri, le quali hanno moltissima influenza; ma non si tien conto della rifrazione atmosferica, giacchè se i dischi dei due astri sembrassero l'un l'altro in contatto ad un certo istante nel caso in cui non esistesse l'atmosfera della terra, per la presenza di quest'atmosfera punto non si modificherebbe una tal circostanza; mentre per l'effetto della rifrazione atmosferica ambedue gli astri verrebbero sollevati nel cielo, pur rimanendo l'un l'altro in contatto. Basta pertanto determinare le epoche nelle quali devono accadere le diverse fasi dell'eclisse come se non vi fosse atmosfera, e le epoche trovate saranno certamente quelle nelle quali si osserveranno realmente queste fasi attraverso l'atmosfera terrestre.

242. Occultazioni delle stelle dietro la luna. — Le occultazioni delle stelle dietro la luna sono fenomeni in tutto analoghi agli eclissi di sole; non v'ha altra differenza che la stella occultata non è animata di moto proprio sulla sfera celeste come il sole, e che è nullo il diametro apparente della stella.

L'occultazione d'una stella può essere veduta da un gran numero di luoghi della terra. Per rendersi conto del modo onde questi luoghi sono distribuiti sul globo, basta studiare l'andamento del cono ombroso della luna rispetto alla luce emanata dalla stella. A cagione della gran lontananza della stella rapporto alla distanza della luna dalla terra, si può considerare questo cono ombroso come un cilindro a base circolare il cui raggio sia uguale al raggio della luna; e questo cilindro che si sposta insieme alla luna, e che non può comprendere ad ogni istante che piccola porzione della superficie della terra, copre successivamente sopra questa superficie diverse regioni formanti una zona; e l'occultazione può essere osservata dai differenti punti di questa zona. Non è però questo il caso di occuparsi del cono della penombra, nullo essendo il diametro apparente della stella; per cui questo cono di penombra si confonde intieramente col cono ombroso.

Per predire gl'istanti precisi del principio e della fine dell'occultazione d'una stella si eseguiscono calcoli analoghi a quelli

che fanno d'uopo per gli eclissi di sole. Determinando le posizioni apparenti del centro della luna nel cielo per diverse epoche fra loro vicine, si arriva a trovar quelle per le quali la distanza della stella dal centro della luna è uguale alla metà del diametro apparente di quest'ultimo astro: è chiaro che il principio e la fine dell'occultazione corrispondono a queste epoche particolari.

Operando come abbiamo in poche parole indicato, si giunge a determinare la durata dell'occultazione d'una stella. Abbiamo veduto precedentemente (223) che l'esatta uguaglianza tra il valore così ottenuto della durata dell'occultazione e ed il valore che ci somministra la diretta osservazione del fenomeno, costituisce la prova più evidente della mancanza d'atmosfera intorno alla luna.

243. **Metodo delle distanze lunari, per la determinazione delle longitudini geografiche.** — Sappiamo che la gran difficoltà per la misura delle longitudini geografiche consiste nella determinazione della differenza delle ore simultaneamente segnate da due orologi posti in due luoghi molto fra loro lontani, e regolati, per esempio, sui tempi solari di questi due luoghi (97 e 178). Il moto della luna fra le costellazioni somministra un metodo eccellente per togliere una tale difficoltà, come potremo comprendere facilmente.

Supponiamo d'essere in un luogo qualunque della terra, e che si voglia trovare la longitudine di questo luogo contata a partire dal meridiano di Parigi. Si potrà regolare un cronometro sul tempo solare del luogo in cui ci troviamo ricorrendo ad uno dei mezzi precedentemente indicati (179): più non rimarrà che determinare la quantità di cui questo cronometro accelera o ritarda rispetto a un orologio regolato sul tempo solare di Parigi per dedurne subito la cercata longitudine. Se fosse possibile fissare nel cielo un orologio la cui mostra fosse visibile da tutti i punti della terra al pari delle stelle, e che segnasse costantemente l'ora di Parigi, basterebbe evidentemente guardare questa mostra e paragonare l'ora che vi segna la lancetta con quella che nello stesso tempo segna il cronometro regolato sul tempo del luogo in cui ci troviamo. Ora gli astronomi sono giunti ad attuare quest'idea, la quale sembrerebbe a prima giunta tanto singolare. La mostra fissata nel cielo, e la cui lancetta si muove in guisa da segnare il tempo solare di Parigi, è costituita dall'intiera sfera celeste: le stelle tengono luogo delle divisioni che di solito sono tracciate sul contorno d'una mostra; e la luna che muovesi attraverso alle stelle tien luogo della lan-

cetta; più non mancano che le cifre destinate a indicare l'ora all'istante in cui la lancetta, vale a dire la luna, occupa un certo posto tra le divisioni della mostra rappresentata dalle stelle: invece di tracciarle nel cielo, il che non si potrebbe fare, gli astronomi di Parigi le scrivono nella *Connaissance des temps*, e per mezzo della tavola che le contiene, un osservatore, poco importa ove collocato sul globo, può dire subito l'ora di Parigi dalla posizione che vede tener la luna fra le stelle. Sono necessarii alcuni particolari per far comprendere in che consista precisamente quest'importante metodo, di cui finora abbiamo fatto conoscere soltanto l'idea fondamentale.

244. L'Ufficio delle longitudini di Parigi fa calcolare ed inserire nella *Connaissance des temps* le distanze angolari che debbono esistere tra il centro della luna e le principali stelle che le sono vicine, di tre in tre ore, per tutti i giorni d'ogni anno. Queste distanze sono calcolate pel caso in cui l'osservatore si trovasse al centro della terra, e le ore che le accompagnano sono date in tempo vero di Parigi.

Quando un osservatore, posto in un luogo qualunque della terra, vuol sapere l'ora di Parigi per quell'istante, misura, per esempio, per mezzo del sestante, la distanza angolare d'una stella principale dal lembo del disco lunare; e conosciuto il diametro apparente della luna, può sùbito dedurne la distanza della stella dal centro di quest'astro. La distanza così ottenuta non è quella che avrebbe trovato l'osservatore se la rifrazione atmosferica non avesse alterate le posizioni apparenti della stella e della luna, o se esso si fosse trovato al centro della terra; ma facilmente si passa dalla distanza osservata a quest'altra quando si abbia cura di misurare le distanze zenitali dei due astri nello stesso tempo che si misura la distanza che li separa. Per mezzo di queste distanze zenitali si possono trovare da una parte le quantità di cui la luna e le stelle vennero avvicinate allo zenit per effetto della rifrazione (58), e dall'altra parte la quantità di cui il centro della luna ne venne allontanato per effetto della parallasse (**203**). Siano E la posizione apparente della stella sulla sfera celeste (fig. 318), L la posizione apparente della luna e Z lo zenit; e siansi misurati tanto l'angolo E O L come gli angoli E O Z, L O Z. Prendendo l'arco E E′ uguale alla rifrazione relativa alla stella, questa sarebbe stata veduta in E′ se non fosse esistita l'atmosfera, e se la si fosse osservata stando al centro della terra: prendendo parimente L L′ uguale alla rifrazione relativa alla luna, anche questa sarebbe stata veduta in L′ se l'atmosfera non

avesse alterata la direzione dei raggi luminosi, e se l'osservatore fosse rimasto nel luogo ove supponiamo che si trovi: facendo quindi L' L'' uguale alla parallasse d'altezza della luna, si avrà in L'' la posizione in cui la luna sarebbe stata veduta dal centro della terra. Così, all'istante in cui venne misurato l'angolo E O L, la distanza angolare della stella dal centro della luna per un osservatore posto al centro della terra era uguale a E' O L''. Conosciuti i tre lati E L, E Z, L Z del triangolo sferico Z E L, si può calcolare l'angolo in Z; si conoscono d'altra parte le distanze Z E', Z L''; nel triangolo sferico Z E' L'' si hanno dunque l'angolo Z e i due lati adjacenti, e si può quindi calcolare il lato E' L'', ovvero l'angolo E' O L'' a cui quest'arco serve di misura.

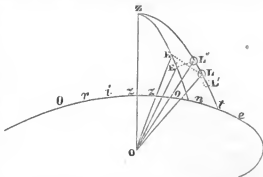



Fig. 318.

Ottenuto così l'angolo E' O L'', non si ha più che cercare nella *Connaissance des temps* l'ora di Parigi a cui corrisponde questa distanza angolare della stella dal centro della luna. Se il valore dell'angolo E' O L'' trovasi essere esattamente uno di quelli che contiene la *Tavola delle distanze lunari* per la stella particolare di cui si tratta, l'ora inscritta a lato di questo valore sarà quella che si cerca; altrimenti l'angolo E' O L'' sarà compreso tra due delle distanze inserite in questa tavola, e con una semplice proporzione si troverà facilmente, per mezzo delle ore segnate e relative a queste due distanze, l'ora precisa cui corrisponde l'angolo E' O L''.

È evidente che si può operare alla stessa maniera misurando la distanza della luna dal sole in luogo di misurare la sua distanza da una stella.

245. Determinazione delle longitudini per mezzo degli eclissi e delle occultazioni. — È facile il vedere che l'osservazione del principio o della fine d'un eclisse di sole o di un'occultazione d'una stella dietro la luna, equivale alla misura della distanza angolare

del centro della luna dal centro del sole o dalla stella; poichè nel primo caso la distanza dei centri dei due astri è uguale alla somma dei loro semi-diametri apparenti, e nel secondo caso la distanza del centro della luna dalla stella è uguale alla metà del diametro apparente della luna. Così una simile osservazione può somministrare la longitudine del luogo in cui uno si trova con pari precisione che la diretta misura della distanza del centro della luna dal centro del sole o da una stella. È pur bene aggiungere che questa osservazione del principio o della fine d'un eclisse di sole o di un'occultazione di stella è suscettibile di molto maggiore precisione che la misura d' una distanza lunare, per modo che con ciò si arriva ad una determinazione molto più esatta della longitudine che si cerca. Così, quando si voglia misurare una longitudine, si ha cura d'approfittare degli eclissi di sole e delle occultazioni di stelle che si possono osservare; e non è che in difetto di fenomeni di tal genere che si ricorre alla misura della distanza della luna da una stella o dal sole od anche da un pianeta.

Gli eclissi di luna possono essere impiegati alla determinazione delle longitudini, ma in tutt'altra maniera. L'ingresso d'uno dei punti notabili del disco lunare nell'ombra della terra è un fenomeno istantaneo che può essere osservato da un gran numero di luoghi insieme, e sembra che si possa servirsene tanto bene quanto d'un segnale a fuoco (97) per confrontare l' andamento di due orologi situati lontani l'uno dall'altro. Ma l'influenza della penombra e dell'atmosfera terrestre fa sì che quest'osservazione non sia suscettibile di precisione: un punto brillante che si esamini in particolare sulla luna, perde la sua luce a poco a poco, penetrando nell'ombra della terra, e non si può dire l'istante in cui precisamente esso passa dalla penombra nell' ombra pura. Gli è per questo motivo che non si ricorre ad eclissi di luna per la determinazione delle longitudini; quantunque per loro natura sembrino affatto proprii a far le veci dei segnali a fuoco, il cui uso è necessariamente molto limitato.

CAPITOLO QUINTO

DEI PIANETI E DELLE COMETE

246. Studiato ne' suoi particolari quanto si riferisce al sole e alla luna, dobbiamo ora occuparci degli altri astri erranti (60): tra questi vengono a collocarsi i pianeti coi loro satelliti, e le comete. Ci è per ora impossibile dimostrare convenientemente la differenza che esiste tra i pianeti e le comete; ciò che vale a stabilirne la distinzione emergerà dai particolari nei quali siamo per entrare rispetto ad ognuna di queste due specie d'astri.

PIANETI

247. **Pianeti conosciuti dagli antichi.** — I pianeti conosciuti dagli antichi, non compresi il sole e la luna, erano in numero di cinque: i nomi che essi avevano loro attribuito, e che noi abbiamo conservato, sono: *Mercurio, Venere, Marte, Giove* e *Saturno.* Questi astri, d'ordinario visibili ad occhio nudo, ci presentano con pochissima differenza l'aspetto medesimo delle stelle; in guisa che le persone non molto esercitate nell'astronomia d'osservazione li confondono sempre con quest'ultime. Ma se dal solo aspetto non si possono distinguere i pianeti dalle stelle, bastano alcuni giorni d'attenta osservazione per accertarsi che un astro, particolarmente esaminato, appartenga alla prima od alla seconda di queste due classi. Infatti i pianeti si spostano frammezzo alle costellazioni, e le distanze d'ognuno di essi dalle stelle che li circondano cambiano sensibilmente in breve periodo di tempo: le stelle al contrario restano immobili le une rispetto alle altre, e conservano tra loro le medesime posizioni relative, le medesime distanze. Per riconoscere in modo certo se un astro particolare sia un pianeta od una stella, non si

avrà che fissare bene nella memoria, e meglio ancora rappresentare mediante un disegno, la posizione occupata da quest'astro in un certo giorno rispetto alle stelle che lo circondano: esaminare quindi ne'giorni seguenti se esso trovasi nella stessa posizione che precedentemente, ovvero se in modo sensibile siasi spostato.

Coll'ajuto di carte celesti si distinguono facilmente i pianeti dalle stelle. Infatti la mobilità dei primi frammezzo alle costellazioni fa sì che non si possano figurare sulla carta, e che le stelle sole vi siano rappresentate. Se quindi si vede nel cielo un astro che rassomigli ad una stella, e se quest'astro non trovasi sulla carta, si potrà conchiuderne che sia un pianeta, o almeno vi sarà una gran probabilità che lo sia, perchè più avanti vedremo che possono presentarsi certe circostanze eccezionali per le quali una tale conclusione riesce inesatta.

248. Volendosi conoscere la posizione occupata nel cielo da un pianeta in un dato giorno, si può ricorrere con vantaggio alle indicazioni somministrate dalle *Effemeridi astronomiche.* Trovansi infatti in queste raccolte i valori che debbono successivamente avere l'ascensione retta e la declinazione di ognuno degli astri di cui ci occupiamo, valori che vennero anticipatamente calcolati, conoscendosi il moto di questi astri, e che corrispondono ad epoche abbastanza fra loro vicine. Rilevandone l'ascensione retta e la declinazione del pianeta che si cerca, per l'epoca particolare di cui si tratta, poscia portando quest'ascensione retta e questa declinazione sopra una carta o sopra un globo, si vedrà subito in mezzo a quale costellazione trovisi il pianeta, ed il posto occupato in questa costellazione. Allora basterà rivolgere lo sguardo al cielo, per riconoscervi immediatamente il pianeta.

L'osservazione mostra che i pianeti visibili ad occhio nudo non s'allontanano mai di molto dal circolo massimo dell'eclittica. Questa circostanza fa sì che per giungere a riconoscere uno di questi pianeti nel cielo basta sapere l'ora in cui esso passa al meridiano, servendosi d'una carta simile a quella che si trova alla pagina **202** (tav. II), e che dà lo sviluppo delle regioni equatoriali della sfera; ed ecco come si deve perciò procedere. Osserviamo dapprima che la carta porta all'alto ed al basso l'indicazione dei diversi giorni dell'anno, succedendosi da destra a sinistra e cominciando dal **22** settembre, che corrisponde all'equinozio di primavera: e tutto fu così disposto che congiungendo con una retta le divisioni dell'alto e del basso della carta

corrispondenti a un medesimo giorno, al 15 gennajo per esempio, questa retta passa pei punti del cielo che giungono al meridiano il 15 gennajo a mezzanotte. Osserviamo ancora che, oltre i gradi d'ascensione retta, vi sono scritte in cifre romane le ore di tempo sidereo tanto lungo l'equatore come al basso della carta, immediatamente al di sopra della retta che contiene l'indicazione dei giorni. È agevole il comprendere la disposizione di queste ore, che vanno da 0 a 24 partendo dal punto equinoziale di primavera, e intendere il modo di servirsene; si vedrà, per esempio, che al 15 gennajo a mezzanotte si hanno 7^{ore} 34′ di tempo sidereo. Supponiamo dunque che vogliasi trovare il posto occupato dal pianeta Venere nel cielo il 4 marzo 1851: ricorrendo all'*Annuario dell'Ufficio delle longitudini* di Parigi, che dà le ore dei passaggi dei principali pianeti al meridiano pel 1.°, l'11 e il 21 d'ogni mese, si ricava da esso che il 4 marzo 1851 Venere passava al meridiano di Parigi a 9^{ore} 7′ mattina, tempo medio; vale a dire, a cagione del valore dell'equazione del tempo (184) per quel giorno, ad 8^{ore} 55′ di tempo vero. Ora sulla carta si vede che il 3 marzo a mezzanotte si hanno 10^{ore} 39′ di tempo sidereo; se a queste 10^{ore} 39′ si aggiungono 8^{ore} 55′, che senza grand'errore si possono prendere per ore e minuti siderei, si trova che il 4 marzo ad 8^{ore} 55′ mattina di tempo vero si avevano 19^{ore} 34′ di tempo sidereo. Prendendo al basso della carta la divisione che corrisponde a 19^{ore} 34′, e conducendo per questa divisione la retta perpendicolare all'equatore, si troveranno su questa retta i punti della sfera celeste che passavano al meridiano di Parigi la mattina del 4 marzo 1851 ad 8^{ore} 55′ di tempo vero, ossia a 9^{ore} 7′ di tempo medio. Il pianeta Venere doveva dunque trovarsi in qualche punto di questa retta; e siccome esso non è mai molto lontano dall'eclittica, così doveva trovarsi in vicinanza al punto in cui la curva che rappresenta l'eclittica è incontrata dalla retta di cui abbiamo parlato. Vedesi con ciò che Venere a quell'epoca doveva essere alquanto all'oriente delle stelle principali della costellazione del Sagittario, per il che si poteva immediatamente trovarla nel cielo.

249. **Zodiaco.** — Abbiamo ora detto che i pianeti visibili ad occhio nudo non s'allontanano mai molto dall'eclittica. Gli antichi avevano osservato che la loro distanza da questo circolo massimo dall'una e dall'altra parte, non sorpassava mai 8 gradi; per modo che imaginando una zona avvolgente la sfera lungo tutta l'eclittica, e stendentesi dall'una e dall'altra parte di questo cir-

colo fino ad una distanza di 8 gradi (fig. 319), i pianeti rimangono sempre nel suo interno. A questa zona, della totale larghezza di 16 gradi, gli antichi hanno attribuito il nome di *zodiaco*.

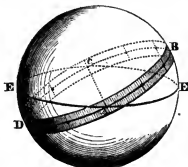



Fig. 319.

Abbiamo indicato (129) in che consista la divisione dell'eclittica in 12 segni; divisione che venne per lungo tempo adottata dagli astronomi. Se da ognuno dei punti di divisione si conduce un arco di circolo massimo perpendicolare all'eclittica, questi dodici archi divideranno lo zodiaco in dodici parti uguali che diconsi *segni dello zodiaco*. A questi segni si attribuiscono i nomi stessi, che abbiamo già fatto conoscere, dei segni dell'eclittica.

250. Distinzione dei pianeti in due specie. — I pianeti muovonsi sulla sfera celeste mantenendosi sempre in vicinanza all'eclittica, e percorrendo successivamente le diverse regioni del cielo attraversate da questo circolo massimo. Ma essi non conservano costantemente la stessa posizione rispetto al sole; ora gli s'avvicinano, ora se ne allontanano, e portansi ora all'oriente ora all'occidente di quest'astro. Esaminando entro un certo periodo di tempo le diverse posizioni che essi così assumono relativamente al sole, si riconosce che tutti non si comportano alla stessa maniera: gli uni non s'allontanano giammai da quest'astro oltre certi limiti, e, raggiunti questi limiti, cominciano a riavvicinarsi ad esso; gli altri al contrario se ne allontanano per quanto è possibile, fino a portarsi di tempo in tempo al punto della sfera diametralmente ad esso opposto. I pianeti della prima specie, quelli la cui distanza dal sole rimane sempre compresa tra limiti fissi, diconsi *pianeti inferiori*; gli altri sono designati col nome di *pianeti superiori*.

Tra i pianeti conosciuti dagli antichi ve ne hanno due inferiori, e sono Mercurio e Venere; gli altri tre, Marte, Giove e Saturno, sono pianeti superiori.

251. Moto apparente dei pianeti inferiori. — Osservando Venere ad un'epoca scelta opportunamente, la si vede di sera poco dopo il tramonto del sole nella regione del cielo che trovasi vicina

al punto dell'orizzonte ove il sole è scomparso, e si mostra come una delle più brillanti stelle del firmamento; ma bentosto il moto diurno del cielo, a cui il pianeta partecipa al pari di tutti gli altri astri, porta esso pure all'orizzonte, ove alla sua volta scompare. Nei giorni seguenti vedesi ancora Venere all'ora stessa e nella stessa regione del cielo; ma essa apparisce ognor più lontana dal punto dell'orizzonte ove il sole è tramontato, ed essa pure tramonta ognor più tardi. Vi ha sotto questo rapporto una certa analogia tra le apparenze che presenta il moto di Venere sulla sfera e quelle del moto della luna a partire da un novilunio (195); esiste però tra questi due moti un'essenziale differenza, che fa d'uopo notare, ed è che il cambiamento che si osserva da un giorno al domani nella posizione dell'astro rispetto all'orizzonte, dopo il tramonto del sole, è molto meno sensibile per Venere che per la luna.

Queste apparenze derivano evidentemente da ciò, che il pianeta, situato all'est del sole sulla sfera celeste, allontanasi ognor più da esso avanzandosi verso oriente. In capo a qualche tempo Venere cessa d'allontanarsi dal sole, e comincia al contrario ad avvicinarvisi a poco a poco, per modo che la si continua a vedere alla sera poco dopo il tramonto del sole, ma in posizioni ognor più vicine al punto dell'orizzonte ove il sole è scomparso. Ben presto il pianeta trovasi tanto vicino al sole che più non lo si può vedere; e quando la luce crepuscolare s'è di tanto indebolita che si possa discernere Venere, questo pianeta è già disceso al di sotto dell'orizzonte.

Dopo alcuni giorni, durante i quali Venere non può più essere distinta, la si può osservare di nuovo, ma all'ovest del sole: allora la si vede alla mattina dalla parte d'oriente qualche tempo prima del nascere di quest'astro; poichè in virtù della nuova posizione ch'essa occupa sulla sfera, nasce e tramonta prima del sole. Osservandola per un numero abbastanza grande di giorni successivi, alla mattina poco prima del nascere del sole, si riconosce ch'essa s'allontana da quest'astro verso occidente, e la si vede ognor più lontana dal punto dell'orizzonte in cui il sole deve sorgere; ma ben presto la sua distanza dal sole più non cresce, ed anzi poco a poco comincia ad avvicinarvisi; e la si vede sempre alla mattina prima del nascere del sole, ma trovasi in posizioni ognor più vicine al punto ove quest'astro deve dopo alcuni istanti apparire.

Finalmente il pianeta s'avvicina di tanto al sole che per più giorni cessa d'esser visibile: quando lo si vede di nuovo esso

trovasi all'est del sole, è visibile alla sera, ed a partire da questo istante lo si vede ripassare successivamente per quelle diverse posizioni che l'abbiamo veduto prendere precedentemente. Venere, in una parola, oscilla da parte a parte del sole, mantenendosi sempre press'a poco sul circolo massimo dell'eclittica. Trovandosi a certe epoche quasi nella direzione del sole S (fig. 320), essa si trasporta da S in A, poscia ritorna da A in S, oltrepassa il sole S, e da S va in B; infine essa ritorna da B in S, ed a partire da questo punto ricomincia come precedentemente. La si vede alla sera dopo il tramonto del sole finchè rimane tra S ed A; la si vede al contrario alla mattina prima del sorgere del sole finchè si trova tra S e B. In questo moto la sua velocità va diminuendo mentre s'allontana dal sole, aumentando al contrario quando vi s'avvicina.

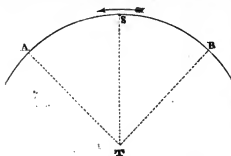



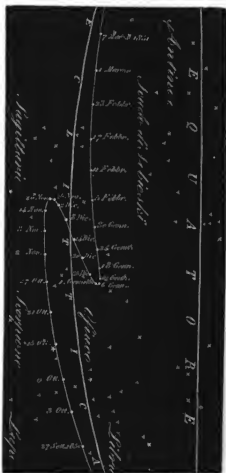
Fig. 320

Le massime digressioni orientali S T A e occidentali S T B di Venere non hanno sempre gli stessi valori, senza però che variino molto da un'epoca all'altra, rimanendo sempre comprese tra 45° e 47° $\frac{3}{4}$ circa. La durata di un'intiera oscillazione del pianeta rapporto al sole, vale a dire il tempo ch'esso impiega, partendo dal punto A, a ritornare allo stesso punto A, è per termine medio di 584 giorni.

252. Muovendosi il sole costantemente lungo l'eclittica è chiaro che Venere non deve avere rispetto alle stelle lo stesso moto apparente che rispetto al sole. Ci faremo un'idea di questo moto di Venere rispetto alle stelle, imaginando ch'essa oscilli lungo l'arco A B dall'una e dall'altra parte del sole S, e che nel tempo stesso il sole trasporti seco quest'arco nell'annuo suo moto sulla sfera. Deve da ciò risultare evidentemente per Venere un moto irregolare sulla sfera; la sua velocità dev'essere ora grande, ora piccola, e può anche accadere che questa velocità cambi direzione, quando il pianeta si trovi verso il mezzo dell'arco A B, e che percorra quest'arco dall'est all'ovest. Egli è quanto effettivamente avviene, come lo indica l'osservazione.

Per istudiare l'andamento di Venere fra le stelle è d'uopo procedere come abbiamo fatto pel sole e per la luna. Si può ad ogni giorno seguare sopra un globo celeste o sopra una carta la posizione in cui trovasi il pianeta, tanto nel caso che questa posizione sia stata determinata alla semplice vista mediante il confronto delle distanze dell'astro dalle stelle che gli sono vicine, quanto che, per maggior esattezza, siasi determinata mediante la misurazione della sua ascensione retta e della sua declinazione. Vedesi pertanto che Venere muovesi press' a poco seguendo il circolo massimo dell' eclittica, passando ora da una parte ora dall'altra di questo circolo; il suo moto, che generalmente è diretto come quello del sole, è ora accelerato, ora ritardato; da un tempo all'altro cambia la direzione di questo moto, e per un certo numero di giorni avviene dall' est all' ovest, per ritornare in seguito ad essere diretto come dapprima. La figura 321 è la riproduzione di una parte della carta della

Fig. 321.

pagina 202 (tav. II), sulla quale si sono segnate le posizioni successive di Venere di 6 in 6 giorni, dal 27 settembre 1850 fino

al 7 marzo 1851. Vedesi che il cammino percorso dal pianeta in quest'intervallo di tempo trovasi in parte al sud e in parte al nord dell'eclittica, senza però che il pianeta s'allontani molto da questo circolo massimo nè da una parte nè dall'altra. Il moto di Venere dapprima è diretto fino al 26 novembre 1850; poscia diventa retrogrado dal 26 novembre 1850 al 6 gennajo 1851, e nel tempo stesso l'astro passa dal sud al nord dell'eclittica; a partire dal 6 gennajo 1851 il moto ritorna diretto, e tale si mantiene fino verso la metà del 1852: a partire da quest' ultima epoca Venere riprende un moto retrogrado, dal 29 giugno fino al 10 agosto seguente, come si vede sulla figura 322; poscia il suo moto è ancora diretto per un tempo alquanto lungo, e così di seguito.

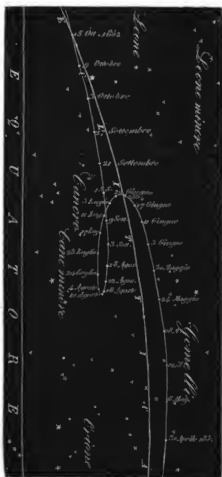



Fig. 322.

Si dicono *stazioni* del pianeta le posizioni per le quali esso passa quando il suo moto cambia direzione, vale a dire quando questo moto da diretto diventa retrogrado, o viceversa.

Da quanto abbiamo detto Venere descrive sulla sfera una linea che presenta certe sinuosità da una parte e dall'altra dell'e-

clittica, e formata di parti successive in cui il pianeta è alternatamente animato da moto diretto e da moto retrogrado. La media durata dell'intervallo di tempo durante il quale il moto è diretto comprende circa 542 giorni; la durata del suo moto retrogrado è molto più breve e solo di 42 giorni circa. Quanto al tempo impiegato da Venere a compiere il giro del cielo, esso non è sempre lo stesso, poichè la sua velocità cambia da un'epoca all'altra, e sovente cambia anche direzione; ma non facendo il pianeta che oscillare da una parte e dall'altra del sole, è facile il vedere che per termine medio questo tempo è quello stesso della rivoluzione del sole intorno alla terra, vale a dire è d'un anno.

253. Per ispiegare le apparenze del moto di Venere gli antichi ebbero ricorso all'ipotesi dell'epiciclo e del deferente di cui abbiamo già parlato all'occasione del sole (145) e della luna (215). Supposero essi che il pianeta V (fig. 323) si muovesse sopra la

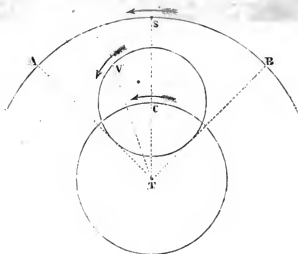



Fig. 323.

periferia di un cerchio il cui centro C percorresse esso medesimo la periferia d'un altro cerchio avente la terra T per centro; e per tener conto di ciò che Venere sembra oscillare dall'una e dall'altra parte del sole, allontanandosi ugualmente dalle due parti, ammisero che il centro C dell'epiciclo si muovesse sul deferente per modo da rimanere sempre sulla retta che con-

giunge la terra T col sole S. Si comprende infatti senza fatica che una tale ipotesi può render facilmente ragione del moto oscillatorio del pianeta rapporto al sole e insieme del suo moto alternatamente diretto e retrogrado rapporto alle stelle.

Se il piano dell'epiciclo coincidesse esattamente col piano dell'eclittica, Venere dovrebbe costantemente apparire su quest'ultimo circolo; ma basta supporre che il piano dell'epiciclo sia alquanto obbliquo rispetto al piano dell'orbita apparente del sole, per ispiegare i passaggi del pianeta ora da una parte ora dall'altra dell'eclittica.

Nelle circostanze del moto apparente di Venere nulla v'ha che possa determinare la grandezza del raggio del deferente, nè quella del raggio dell'epiciclo; il solo rapporto di questi due raggi è determinato dalla condizione che l'angolo A T S sia uguale al valore della massima digressione orientale o occidentale di Venere, valore che è di circa 46°. Tutte le apparenze si spiegano ugualmente bene dando al deferente il raggio T C' (fig. 324) invece del raggio T C, e aumentando il raggio dell'epiciclo nello stesso rapporto: purchè il centro dell'epiciclo (C o C') muovasi intorno alla terra mantenendosi sempre sulla retta T S, ed il pianeta (V o V') impieghi sempre lo stesso tempo a percorrere l'epiciclo, le apparenze rimarranno esattamente le stesse. Ma allora nulla s'oppone ad aumentare il raggio del deferente fino a renderlo uguale allo stesso raggio T S dell'orbita apparente del sole; ciò che torna a supporre che Venere descriva la periferia d'un epiciclo il cui centro, coincidendo col centro del sole, è trasportato da quest'astro nell'annuo suo moto intorno alla terra. È inutile il dire che noi facciamo qui astrazione dalle irregolarità del moto apparente del sole intorno alla terra; e per giungere a spiegarci all'ingrosso le principali circostanze del moto di Venere, consideriamo il sole come se descrivesse la periferia d'un circolo del quale la terra occupasse il centro. Vediamo dunque che possiamo renderci conto del moto apparente del pianeta che ci occupa facendogli percorrere la periferia d'un cerchio intorno al sole come a centro, e supponendo che il sole trasporti seco quest'orbita nel suo moto intorno alla terra.

Mediante l'osservazione si potè verificare che infatti tutto così accade. Una particolarità che ancora non abbiamo indicato, e che era sconosciuta agli antichi astronomi, ha mostrato che il pianeta ruota intorno al sole, e non rimane sempre al di qua di quest'astro percorrendo il suo epiciclo, com'essi credevano. Venere è un globo che non è luminoso per sè stesso; al

pari della luna questo pianeta riceve la sua luce dal sole, ed è per questo che noi possiamo discernerlo. L'emisfero di Venere

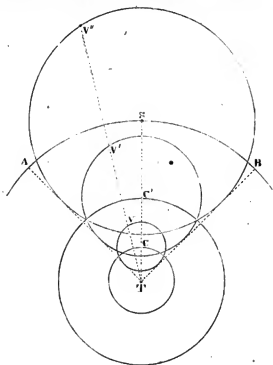



Fig. 324.

che trovasi così illuminato dal sole, non occupa sempre la stessa posizione rispetto a noi, e ne debbono risultare delle fasi analoghe a quelle della luna; ed è quanto riconobbe Galileo quand'ebbe diretto un cannocchiale verso questo pianeta. Ora, seguendo le modificazioni che successivamente provavano queste fasi, egli s'assicurò ch'esse accordavansi pienamente coll'idea d'un moto del pianeta sopra una circonferenza di cerchio avente il sole per centro. In un tal movimento Venere deve mostrarsi a noi sotto forma d'un circolo luminoso quando è in V (fig. 325); andando da V in V' deve insensibilmente passare dalla forma che abbiamo indicato a quella d'un semi-cerchio luminoso; da V' in V" essa deve prendere la forma falcata e apparire come

una striscia ognor più sottile; in V″ dev'essere affatto invisibile; infine passando da V″ in V‴, e poscia in V, deve ripassare esatta-

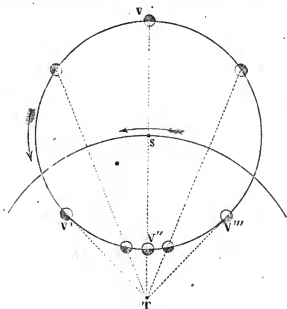



Fig. 325.

mente per le stesse fasi, ma con ordine inverso. L'attenta osservazione delle fasi del pianeta ha mostrato a Galileo che tutto accadeva precisamente in questa maniera. Se Venere descrivesse un epiciclo, mantenendosi sempre tra il sole e la terra o sempre al di là del sole, od anche se l'epiciclo di Venere abbracciasse il sole, avendo il suo centro notabilmente lontano da quest' astro, risulterebbero nella successione delle fasi circostanze essenzialmente diverse da quelle che corrispondono al caso in cui il pianeta descriva un cerchio intorno al sole come centro, circostanze la cui esistenza si sarebbe potuta facilmente verificare coll' osservazione.

Nello stesso tempo che Venere presenta fasi diverse, il suo diametro apparente cambia grandezza in ragione dell' aumento o della diminuzione della sua distanza dalla terra. Questa variazione del diametro apparente si compie entro limiti abbastanza estesi, come si può vedere dalle figure comprese dalla 326

alla 329, le quali mostrano le diverse forme del pianeta costruite tutte nella medesima scala. La prima di queste forme (fig. 326)

F.326. F.327. F.328. Fig. 329. Fig. 330

corrisponde al caso in cui Venere è in V (fig. 325); la seconda (fig. 327) si riferisce a una posizione intermedia tra V e V'; la terza (fig. 328) è quella che si osserva quando Venere è in V'; e la quarta (fig. 329) è relativa a una posizione intermedia tra V' e V'': il circolo punteggiato (fig. 330) fa vedere la grandezza che presenterebbe il disco di Venere se lo si potesse discernere quando è in V''. In quest'ultima posizione V'' è rivolto verso di noi l'emisfero non illuminato del pianeta, per modo che non lo si può vedere direttamente; ma di tempo in tempo, quando il pianeta passa nella parte V'' della sua orbita. lo si vede projettarsi sul disco del sole sotto la forma d'un circolo nero che ha precisamente le dimensioni che presenta il circolo punteggiato della figura 330.

254. Il moto apparente di Mercurio è affatto analogo a quello di Venere. Questo pianeta, che è molto meno brillante di Venere, può essere come questa osservato, ora la sera poco dopo il tramonto del sole, ora la mattina poco prima del nascere di quest'astro; e si riconosce così ch'esso sembra oscillare da una parte all'altra del sole, rimanendo sempre press'a poco sul circolo massimo dell'eclittica. Ma questo moto oscillatorio presenta minor regolarità di quello di Venere: le massime digressioni orientali e occidentali di Mercurio non hanno sempre lo stesso valore, ma variano tra 16° $\frac{1}{4}$ e 28° $\frac{3}{4}$: la durata di un'intiera oscillazione di questo pianeta rispetto al sole, vale a dire il tempo ch'esso impiega a passare dalla massima sua digressione orientale alla massima sua digressione occidentale, e a ritornare poscia alla sua primitiva posizione, varia da 106 giorni a 130 giorni.

L'ipotesi colla quale gli antichi astronomi cercarono di spiegare le circostanze del moto apparente di Venere, venne ugualmente adottata da essi per Mercurio; solo che dovette venire complicata coll'aggiunta di nuovi epicieli, come abbiamo già indicato per la luna (213), a cagione della irregolarità che abbiamo indicate nel moto del pianeta di cui ora ci occupiamo. Le ragioni che già abbiamo svolte, e per le quali fummo condotti ad ammettere che Venere descrive la periferia d'un circolo il cui centro coincide col centro del sole, sono applicabili a Mercurio: le fasi che presenta questo pianeta mostrano che al pari di Venere esso ruota intorno al sole; solo che troppo lungi si andrebbe dalla realtà qualora si ammettesse ch'esso descrive uniformemente una circonferenza di cerchio il cui centro cade nel centro del sole: ci avviciniamo molto più alla verità considerando il pianeta come descrivente la circonferenza di un circolo eccentrico al sole, e con una velocità variabile entro certi limiti.

Muovendosi così Mercurio intorno al sole, sopra un'orbita che il sole seco trasporta nel suo moto apparente intorno alla terra, risulta pel pianeta un moto irregolare rispetto alle stelle: esso attraversa le costellazioni zodiacali, ora rapidamente ora lentamente, e di tempo in tempo il suo moto, che generalmente è diretto, divien retrogrado durante alcuni giorni, per ritornare in appresso diretto come precedentemente. La durata di questa retrogradazione del pianeta è per termine medio di circa 23 giorni. Mercurio, come Venere, impiega per termine medio un anno a fare il giro del cielo, vale a dire a percorrere le diverse costellazioni zodiacali.

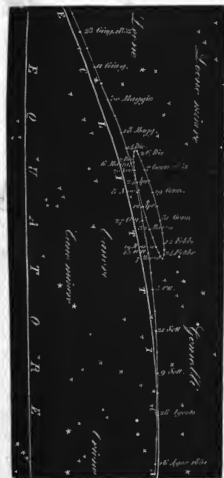
255. Moto apparente dei pianeti superiori. — Abbiamo detto che i pianeti superiori distinguonsi dai pianeti inferiori per ciò che i primi possono portarsi a qualsivoglia distanza dal sole, fino a porsi in opposizione con quest'astro, mentre gli ultimi non fanno che oscillare da una parte all'altra del sole, senza allontanarsene oltre certi limiti. Ma esaminando il moto dei pianeti superiori rispetto alle stelle, si trova, al contrario, che questo moto è in tutto analogo a quello dei pianeti inferiori.

Consideriamo in particolare il pianeta Marte. Segnando su di una carta celeste la serie delle posizioni ch'esso occupa successivamente nel cielo, si vede ch'esso muovesi press'a poco a seconda del circolo massimo dell'eclittica, dal quale non si scosta che di piccole quantità ora da una parte ora dall'altra. Dopo aver camminato per un tempo abbastanza lungo con moto diretto,

esso ritorna indietro e muovesi per qualche tempo di moto contrario, poscia riprende il suo moto diretto per retrogradare più tardi come ha già fatto, e così di seguito. La figura 331 mostra il cammino descritto da Marte alla fine dell'anno 1851 ed al principio del 1852. Vedesi da essa che, dopo essersi avanzato verso oriente fino al 20 dicembre 1851, il pianeta ha retrogradato fin verso il 24 febbrajo 1852, e che in appresso ha ripreso il suo moto diretto. Marte conserva il suo moto diretto per circa 707 giorni, o quasi due anni; la durata del suo moto retrogrado è molto più breve, e consta soltanto di circa 73 giorni; per modo che ogni periodo completo del moto di Marte, comprendente insieme il suo moto diretto e il moto retrogrado che lo segue, è costituito di circa 780 giorni, ossia di 2 anni e 50 giorni. Marte percorre tutto il giro del cielo in un periodo di tempo composto per termine medio di 687 giorni.

Fig. 331.

In nessun' epoca del suo moto diretto Marte muovesi con ugual rapidità del sole sull'eclittica; per cui risulta che quest'ultimo astro precorre ognor più il pianeta sembrando costante-

mente camminare da oriente verso occidente rispetto ad esso. Talora questo moto apparente dipende dall'eccesso della velocità del sole su quella del pianeta, quando questo si muove di moto diretto; talora è dovuto a ciò che il pianeta muovesi realmente verso occidente sulla sfera, mentre il sole conserva sempre il suo moto verso oriente. Quando il pianeta Marte trovasi press'a poco nella stessa regione del cielo che il sole, questo lo sorpassa ben presto e se ne allontana ognor più verso occidente finchè trovasi in opposizione; allora continuando a camminare nella stessa direzione del pianeta, comincia ad avvicinarvisi dalla parte opposta; bentosto lo raggiunge, poscia ricomincia ad allontanarsene dalla parte d'occidente, e così di seguito.

Queste diverse circostanze sono conseguenze naturali del modo onde Marte si sposta frammezzo alle stelle. Ma l'osservazione indica anche di più; essa fa vedere che i cambiamenti nella grandezza e nella direzione che prova la velocità del pianeta frammezzo alle costellazioni sono intimamente collegate colle posizioni da esso occupate rispetto al sole. Quando Marte trovasi nella stessa regione del cielo che il sole, vale a dire all'istante della congiunzione del pianeta, secondo l'espressione adottata, questo occupa il mezzo dell'arco da esso descritto di moto diretto: quando il pianeta è in opposizione, esso trovasi al mezzo dell'arco che descrive di moto retrogrado. Il moto del pianeta cambia direzione, da diretto diventa retrogrado, quando è all'occidente del sole e a 137° di distanza da quest'astro; il moto retrogrado continua finchè il pianeta, dopo la sua opposizione, siasi avvicinato al sole tanto da non esserne che a una distanza di 137° dalla parte d'oriente; e allora il moto diviene di nuovo diretto. Vedesi con ciò che il sole ha una parte importante nel moto apparente del pianeta Marte, del pari che in quello dei pianeti inferiori.

256. Vediamo ora in qual maniera si potè giungere a spiegare le circostanze che abbiamo indicate nel moto apparente di Marte sulla sfera celeste. Essendo questo moto apparente composto d'una successione periodica e regolare di moti diretti e di moti retrogradi del pianeta fra le stelle, come ciò ha luogo per Venere e per Mercurio, gli antichi ne cercarono la spiegazione con mezzi analoghi. Riconobbero essi infatti che si poteva considerare come se Marte descrivesse un epiciclo, il cui centro percorresse anch'esso un deferente avente per centro la terra; e perchè tutto avvenisse come abbiamo indicato nel

precedente numero, furono condotti ad ammettere che il pianeta M (fig. 332) descrivesse il suo epiciclo per modo che il

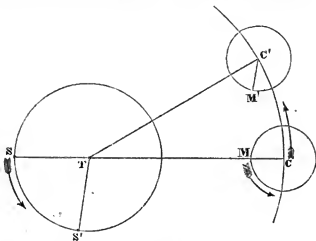



Fig. 332.

raggio C M, che lo congiunge col centro di questo circolo, si mantenesse sempre parallelo alla retta T S che congiunge la terra col sole; così andando il sole da S in S', e il centro dell'epiciclo da C in C', il pianeta si porta sull'epiciclo in un punto M' tale che C' M' sia parallela a T S'. Esaminando le diverse posizioni nelle quali il pianeta M viene successivamente a collocarsi seguendo quest'ipotesi, si riconosce infatti che il suo moto presenta le medesime particolarità che sono indicate dall'osservazione nel moto apparente di Marte.

Le apparenze del moto di Marte trovansi dunque spiegate, come quelle dei moti di Venere e di Mercurio, ammettendo che il pianeta muovasi sopra un epiciclo il cui centro percorra un deferente. Ma v'ha una differenza essenziale tra l'ipotesi degli antichi relativa ai due pianeti inferiori e quella che si riferisce al pianeta Marte: in questa è il raggio dell'epiciclo passante pel pianeta che si mantiene costantemente nella direzione della retta T S; al contrario in quella che si riferisce ai pianeti inferiori è il raggio del deferente passante pel centro dell'epiciclo che soddisfà a questa condizione. Ma l'attento esame dell'ipotesi relativa a Marte fa vedere che si può facilmente modificarla in guisa da togliere questa differenza capitale, ed ecco in che modo. Supponiamo

che dalla terra T come centro (fig. 333) si descriva una circonferenza di cerchio con raggio T O uguale al raggio C M del-

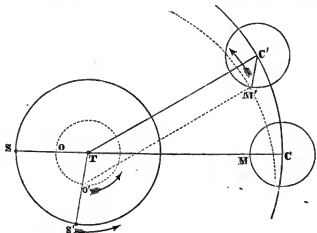



Fig. 333.

l'epiciclo; è facile il vedere che la distanza M O ovvero M' O, del pianeta dal punto in cui questa circonferenza di cerchio è incontrata dalla retta che congiunge la terra col sole, si conserva sempre della stessa grandezza; giacchè, essendo C' M' uguale e parallela a T O', la figura T O' M' C' è un parallelogrammo, e per conseguenza M' O' è uguale a C' T, vale a dire uguale al raggio del deferente. Si può dunque dire che il pianeta si trova sempre sopra la circonferenza di un circolo descritto col raggio T C del deferente ed avente per centro il punto O ovvero O' determinato nel modo che abbiamo detto. Ma quest'ultimo cerchio, comprendendo la terra T nel suo interno, altro non è che un eccentrico; quindi le circostanze del moto di Marte si spiegano egualmente bene ammettendo che questo pianeta si muova sopra un eccentrico, il cui centro descriva una circonferenza di cerchio intorno alla terra, come ammettendo ch'esso muovasi sopra un epiciclo, il cui centro descriva un deferente, come avevano fatto gli antichi. Nella nuova ipotesi il raggio O' M' dell'eccentrico ha la grandezza che attribuivasi al raggio T C del deferente nell'antica, e il raggio T O del circolo descritto intorno alla terra dal centro dell'eccentrico è uguale al raggio C M dell'epiciclo; devesi in oltre

ammettere che il centro dell'eccentrico muovasi intorno alla terra in guisa da trovarsi sempre sulla retta che congiunge la terra col sole.

Confrontiamo ora questa nuova ipotesi con quelle che ammettevano gli antichi per Venere e Mercurio, e vedremo che tutte consistono nel considerare il pianeta come percorrente la circonferenza di un cerchio, il cui centro ruota esso pure intorno alla terra, colla condizione che questo centro rimanga sempre sulla retta condotta dalla terra al sole. Nel caso di Venere e di Mercurio la circonferenza di cerchio descritta da ognuno di questi pianeti non ha un raggio bastantemente grande da comprendere nel suo interno la terra, e ne risulta che prende il nome di epiciclo; nel caso di Marte, questa circonferenza di cerchio descritta dal pianeta circonda la terra, e diviene così un eccentrico: ma tolta questa differenza, che dipende unicamente dalla grandezza del raggio del cerchio la cui circonferenza è descritta dal pianeta, il moto di Marte trovasi esattamente spiegato alla stessa maniera che quelli di Venere e Mercurio.

Ma possiamo spingerci ancora più innanzi. Quando ci siamo occupati del moto di Venere abbiamo notato che da nessuna circostanza del moto apparente del pianeta potevamo dedurre le dimensioni assolute dei raggi dell'epiciclo e del deferente, e che solo potevamo determinare il rapporto tra questi raggi, e ne abbiamo conchiuso che potevamo prendere il raggio del deferente uguale a quello dell'orbita apparente del sole intorno alla terra, e far coincidere in conseguenza costantemente il centro dell'epiciclo di Venere col sole. Nulla impedisce che si possa fare esattamente lo stesso pel pianeta Marte. Noi abbiamo trovato che si può spiegare il suo moto apparente facendolo muovere su di un eccentrico il cui centro ruoti intorno alla terra per modo da restar sempre sulla retta che congiunge la terra col sole: le dimensioni assolute dell'eccentrico e del circolo che descrive il suo centro non essendo per nulla determinate dalle circostanze del moto apparente del pianeta, si possono scegliere per tal modo che il centro dell'eccentrico coincida col centro del sole. Vedesi pertanto che il moto apparente di Marte al pari di quelli di Venere e di Mercurio possono spiegarsi ammettendo che il pianeta ruoti intorno al sole e che quest'astro nell'annuo suo moto intorno alla terra trasporti seco l'orbita così descritta dal pianeta.

Marte muovendosi intorno al sole, come abbiamo detto, lungo un orbita che nel suo interno comprende la terra, non deve

presentare la successione delle fasi che ne presenta Venere. Qualunque sia la posizione occupata dal pianeta nella sua orbita, noi vediamo sempre la massima parte dell'emisfero ch'esso rivolge verso il sole, e che è illuminato da quest'astro. Il piano del circolo che limita l'emisfero illuminato e quello del circolo che limita l'emisfero visibile della terra comprendono un angolo uguale a quello delle rette S M, T M (fig. 334), che congiungono il sole e la terra al pianeta: ora è facile il vedere che in tutte le posizioni di Marte sulla circonferenza M'M M'' quest'angolo non può diventare molto grande, e che è press'a poco nella particolare posizione che venne data nella figura al punto M che quest'angolo ha il suo massimo valore; così il pianeta che vedesi sotto la forma d'un disco circolare alle epoche delle opposizioni M' e delle congiunzioni M'', non si mostra mai sotto forma molto diversa dal cerchio, quantunque però sia sensibilissima l'alterazione che prova tra le opposizioni e le congiunzioni.

Fig. 334.

257. Gli altri due pianeti superiori conosciuti dagli antichi, Giove e Saturno, presentano nel loro moto circostanze analoghe in tutto a quelle che presenta Marte: essi muovonsi nel cielo press'a poco lungo l'eclittica; ed il loro moto è alternatamente diretto e retrogrado. La velocità di cui ognun d'essi è animato, quando il moto è diretto, essendo minore della velocità del sole sull'eclittica, ne risulta che, rispetto al sole, sembrano costantemente muoversi da oriente verso occidente. Ognuno di questi pianeti, quand'è in congiunzione, trovasi nel mezzo dell'arco che descrive di moto diretto, e trovasi al mezzo dell'arco che descrive di moto retrogrado quand'è in opposizione.

Giove conserva il suo moto diretto per circa 278 giorni, e il suo moto retrogrado per circa 121 giorni; per modo che ogni periodo completo del suo moto, comprendendo un moto diretto e il seguente moto retrogrado, ha una durata di 399 giorni. Il moto di Giove cessa d'esser diretto per dar luogo al suo moto retrogrado quando il pianeta si è allontanato dal sole dalla parte d'occidente ad una distanza di 115 gradi; la direzione del moto

del pianeta cambia di nuovo, e questo moto ritorna diretto quand'esso si è riavvicinato al sole dalla parte d'oriente fino alla stessa distanza di 115 gradi. Giove impiega circa 4 333 giorni, o quasi 12 anni a compiere il giro del cielo.

Il moto diretto di Saturno dura 239 giorni, e il suo moto retrogrado 139 giorni; ogni completo periodo del suo moto si compone pertanto di 378 giorni. La distanza di Saturno dal sole all'occidente di quest'astro è di 109 gradi all'istante in cui il suo moto comincia a diventare retrogrado; il moto del pianeta comincia a ritornare diretto quando la sua distanza dal sole dalla parte d'oriente ha ripreso questo medesimo valore di 109 gradi. Saturno impiega 10 759 giorni, o circa 29 anni $\frac{1}{2}$ a compiere tutto il giro del cielo.

Da ciò si riconosce subito che gli antichi dovettero spiegare i moti di Giove e di Saturno esattamente alla stessa maniera colla quale hanno spiegato il moto di Marte: essi hanno ammesso che ognuno di questi pianeti si muova sopra un epiciclo il cui centro ruota intorno alla terra sopra un deferente, con questa condizione, che il raggio dell'epiciclo passante pel pianeta si mantiene sempre parallelo alla retta che congiunge la terra col sole. Potremmo per altro ripetere per Giove e per Saturno il ragionamento col quale siamo giunti a sostituire all'ipotesi degli antichi sul moto di Marte un'altra ipotesi avente maggiore analogia con quelle ammesse per Venere e Mercurio. Concluderemo dunque immediatamente che si possono spiegare i moti apparenti di Giove e Saturno ammettendo che ognuno di questi due pianeti descriva una circonferenza di circolo intorno al sole, e che quest'astro trasporti seco le loro orbite nell'annuo suo moto intorno alla terra.

Giove e Saturno, circolando intorno al sole in orbite molto più grandi di quella di Marte, non presentano la menoma apparenza di fasi: in nessun'epoca del loro moto il loro disco non prova la leggera alterazione che si osserva nel disco di quest'ultimo pianeta.

258. **Sistema di Tolomeo.** — Le idee degli antichi sul moto dei pianeti ci vennero tramandate per mezzo delle opere di Tolomeo, astronomo d'Alessandria, che fioriva verso l'anno 130 dell'era nostra. Egli è perciò che si dà il nome di *sistema di Tolomeo* al complesso delle ipotesi ch'essi avevano adottate, e che per lungo tempo venne conservato senza modificazioni. La figura 335 fa conoscere d'uno sguardo l'insieme di questo sistema. La terra T è posta nel centro; intorno ad essa, e pres-

s'a poco nello stesso piano, muovonsi i sette astri ai quali essi attribuivano il nome di pianeti, e che sono la luna L, Mercu-

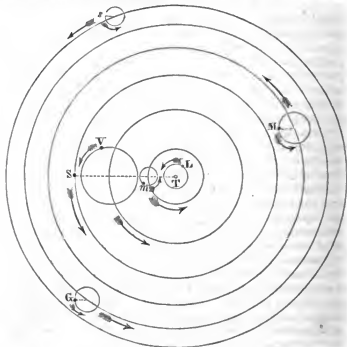



Fig. 335.

rio *m*, Venere V, il sole S, Marte M, Giove G e Saturno *s*. Abbiamo veduto che per dare spiegazione delle principali circostanze del moto dei cinque pianeti Mercurio, Venere, Marte, Giove, Saturno, e segnatamente delle loro stazioni e retrogradazioni, erasi ammesso che ognun d'essi descrivesse un epiciclo il cui centro percorreva un deferente; ed abbiam detto in oltre che i raggi dei deferenti di Mercùrio e Venere, terminanti ai centri degli epicicli di questi pianeti, dovevano essere costantemente diretti verso il sole, e che i raggi condotti da Marte, Giove e Saturno ai centri dei rispettivi loro epicicli dovevano mantenersi sempre paralleli alla retta che congiunge la terra col sole. La figura 335 venne costruita in guisa da soddisfare a queste condizioni.

L'ordine secondo il quale sono disposti i pianeti venne determinato dal tempo che ognun d'essi impiega a compiere il giro

del cielo, ad eccezione però di Mercurio e Venere, i quali, come abbiamo veduto, impiegano lo stesso tempo del sole, vale a dire un anno, a percorrere tutte le costellazioni zodiacali. Gli antichi supponevano che i pianeti fossero tanto più lontani dalla terra quanto maggiori erano le durate delle loro rivoluzioni sideree: quanto a Venere ed a Mercurio non erano d'accordo sul posto che loro dovevasi assegnare; gli uni li collocavano oltre il sole, gli altri tra il sole e la terra: Tolomeo adottò quest'ultima opinione, e suppose Mercurio a noi più vicino di Venere perchè il tempo della rivoluzione sull'epiciclo è più breve pel primo che pel secondo pianeta.

A questo limitavansi le idee degli antichi sulla costituzione dell'insieme del sistema planetario. Essi nulla assolutamente sapevano dei rapporti esistenti tra le mutue distanze dei diversi corpi che lo compongono.

Se ai moti dei sette pianeti intorno alla terra aggiungiamo il moto generale di rotazione dell'insieme di questi pianeti e delle stelle intorno all'asse del mondo nel periodo d'un giorno sidereo, avremo la completa rappresentazione del sistema astronomico degli antichi.

259. **Sistema di Copernico.** — Parecchi filosofi dell'antichità avevano espresse sulla costituzione dell'universo idee affatto diverse da quelle ammesse ai loro tempi. I Pitagorici supponevano il sole immobile nel centro del mondo, e attribuivano alla terra un doppio moto di rotazione sopra sè stessa e di rivoluzione intorno al sole: altri consideravano Mercurio e Venere come muoventisi intorno al sole. Copernico, nato nel 1473 a Thorn, nella Prussia polacca, ebbe la gloria d'aprire un'era tutta nuova all'astronomia facendo rivivere queste idee e basando sopra di esse un sistema che venne pienamente confermato dai lavori posteriori degli astronomi, i quali ebbero a rifrancarlo d'un gran numero di prove.

Copernico riconobbe, come lo abbiamo dimostrato dianzi, (253 e 256), che non solo si può supporre che i centri degli epicicli di Venere e di Mercurio coincidano col sole, ma ancora che si possono considerare Marte, Giove e Saturno come muoventisi anch'essi intorno a quest'astro. Per spiegare compiutamente le apparenze che presentano i moti dei cinque pianeti dovea dunque ammettere soltanto che essi tutti circolavano intorno al sole, e che questo traeva seco le loro orbite nell'annuo suo moto intorno alla terra: ma esso si spinse ancora più innanzi, e vide che l'annuo moto del sole intorno alla terra può

essere considerato come una mera apparenza dovuta a ciò che la terra stessa ruota intorno al sole nel periodo d'un anno (158). Con ciò i moti dei pianeti divennero molto più semplici: questi corpi non fecero più che circolare intorno al sole, che restò immobile; e la terra, animata di un moto analogo intorno a quest'astro, potè essere anch'essa considerata come un pianeta. Completò infine queste idee ammettendo che il moto diurno del cielo non è che un'apparenza dovuta alla rotazione della terra sopra sè stessa (74).

Abbiamo detto che nel sistema di Tolomeo i rapporti delle mutue distanze dei diversi corpi del sistema planetario non erano per nulla determinati: ma qui non è lo stesso. Finchè non si tratta che di dare spiegazione delle particolarità del moto d'ogni pianeta, e segnatamente delle sue stazioni e delle sue retrogradazioni, non è necessario attribuire piuttosto una che altra dimensione all'epiciclo ed al deferente, per mezzo dei quali si spiega questo movimento; ma è d'uopo soltanto stabilire tra i raggi di questi due cerchi un determinato rapporto il quale varii dall'uno all'altro pianeta. Egli è così che per Venere, per esempio, il raggio dell'epiciclo dev'essere 0,72 del raggio del deferente, e per Marte il rapporto di questi due raggi dev'essere uguale a 0,66: quanto alle grandezze dei raggi dei deferenti di questi due pianeti, si possono prendere quali si vogliano. Ma quando oltre a ciò si ammette che il centro dell'epiciclo di Venere coincida col sole, se ne deve conchiudere necessariamente che il raggio di quest'epiciclo, o, in altri termini, la distanza di Venere dal sole è 0,72 della distanza del sole dalla terra: parimente quando pel pianeta Marte si sostituisce all'ipotesi dell'epiciclo e del deferente quella d'un eccentrico il cui centro ruoti intorno alla terra, e che poscia si ammette che questo centro dell'eccentrico coincide col sole, ne risulta che la distanza del sole dalla terra è 0,66 del raggio dell'orbita che Marte descrive intorno al sole; od anche che questo raggio dell'orbita di Marte è uguale a 1,52, se si prende per unità la distanza del sole dalla terra.

Vedesi pertanto che non si possono adottare le idee sostenute da Copernico senza ammettere nello stesso tempo che i raggi delle orbite dei pianeti intorno al sole hanno, rispetto alla distanza del sole dalla terra, valori affatto determinati dalle circostanze del moto apparente d'ognun d'essi. Questi valori, calcolati prendendo la distanza del sole dalla terra per unità, sono i seguenti: per Mercurio 0,39; per Venere 0,72; per Marte 1,52; per Giove 5,20 e per Saturno 9,54. Non v'ha dub-

que nulla d'arbitrario nell'ordine di successione dei diversi pianeti, a partire dal sole; quest'ordine è quello secondo il quale li abbiamo enumerati, e se vi si aggiunge la terra, considerata come un sesto pianeta, essa dovrà collocarsi tra Venere e Marte, poichè il raggio della sua orbita intorno al sole è uguale a 1.

Il *Sistema di Copernico*, quale risulta dalle spiegazioni nelle quali siamo entrati, è rappresentato dalla figura 336: ai raggi

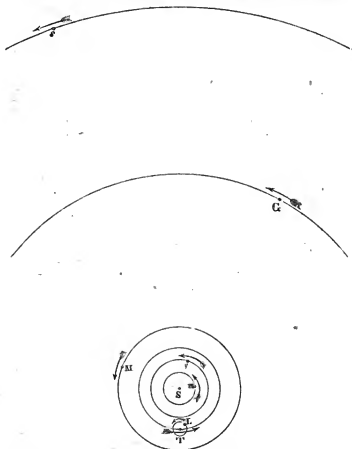



Fig. 336.

delle diverse orbite vennero dati valori proporzionali a quelli che abbiamo indicati: per la scala adottata non si poterono com-

piutamente tracciare le orbite di Giove e Saturno per mancanza di spazio.

In questo sistema la luna non fa più parte dei pianeti. Mostrando l'osservazione ch'essa muovesi intorno alla terra, non si può ammettere che la terra ruoti intorno al sole senz'ammettere in pari tempo ch'essa tragga seco l'orbita apparente della luna, come del resto abbiamo già precedentemente spiegato (224). La luna perde così della sua relativa importanza nell'universo; in luogo d'essere un pianeta, non è più che un piccolo corpo che accompagna la terra nell'annuo suo moto, circolando in pari tempo attorno ad essa: la luna è ridotta alla parte di *satellite* della terra. L'orbita della luna intorno alla terra venne rappresentata nella figura 336; ma non fu possibile farla senza esagerarne le dimensioni; altrimenti non si sarebbe potuto discernerla, essendo noto che la distanza L T della luna dalla terra altro non è che la 400ª parte della distanza T S della terra dal sole (202).

Così, riassumendo, nel sistema di Copernico il sole è immobile nello spazio; i diversi pianeti, compresa la terra, muovonsi intorno al sole nello stesso verso seguendo orbite poste tutte press'a poco nello stesso piano; la luna, che gira intorno alla terra, viene trasportata da questa nell'annuo suo moto intorno al sole; e finalmente la terra, ruotando sopra sè stessa mentre si trasporta intorno al sole, genera le apparenze del moto diurno.

Abbiamo già date prove della realtà della rotazione della terra sopra sè stessa (74) e del moto annuo della terra intorno al sole (159 e 171); abbiamo veduto (253 e 254) che le fasi di Venere e di Mercurio dimostrano che questi pianeti muovonsi effettivamente intorno al sole; ma non sono soltanto queste le ragioni che si possono addurre in favore del sistema di Copernico: altre ve ne hanno e più potenti che vedremo ben tosto, e che avremo cura di fare emergere quante volte se ne presenterà l'occasione. Galileo fu il principale promotore del sistema di Copernico, di cui fornì molte prove: la persecuzione della quale fu oggetto in quest'occasione fa testimonianza della difficoltà che si aveva a sradicare le antiche idee sull'assoluta immobilità del globo terrestre.

260. Sistema di Tycho-Brahé. — Tycho Brahé, vedendo quanta fatica si aveva ad ammettere il sistema di Copernico, ne propose uno che aveva il vantaggio di spiegare i moti apparenti dei pianeti egualmente bene che quello di Copernico, senza toccare all'immobilità della terra, alla quale si era tanto attaccati.

In questo sistema (fig. 337) i diversi pianeti muovonsi intorno al sole esattamente alla stessa maniera che nel sistema di Co-

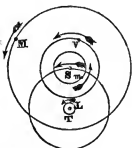



Fig. 337.

pernico; essi percorrono orbite aventi le medesime dimensioni, ma si suppone che il sole muovasi annualmente intorno alla terra, che resta fissa, traendo seco tutto il suo corteo di pianeti. In oltre tutto l'assieme delle stelle, dei pianeti, del sole e della luna ruota intorno all'asse del mondo, e compie un intiero giro nel periodo d'un giorno sidereo.

Questo sistema di Tycho-Brahé altro non è che quello di Tolomeo con idee più razionali sui moti dei pianeti; idee che, come abbiamo veduto, determinano compiutamente i rapporti delle mutue distanze di questi diversi corpi: esso non fu adottato generalmente. Tutti si abituarono poco a poco all'idea del moto della terra, e prevalse il sistema di Copernico: d'altra parte s'accumularono ben presto le prove in favore di quest'ultimo sistema, e da lungo tempo non è più possibile conservare alcun dubbio sulla sua realtà.

261. Leggi di Keplero. — Copernico, facendo muovere i pianeti e la terra intorno al sole, aveva restituito a quest'astro il posto che gli appartiene nell'universo; la terra e i pianeti ormai non erano che corpi secondarii dipendenti dal sole e circolanti intorno ad esso in orbite press'a poco dirette nello stesso piano. Ma nulla aveva modificato nella maniera onde gli antichi spiegavano le ineguaglianze del moto di questi diversi corpi. L'osservazione faceva vedere che non potevasi ritenere che i pianeti, nel loro moto intorno al sole, descrivessero uniformemente dei circoli concentrici con quest'astro; ed abbiamo già veduto che la terra medesima, il cui moto intorno al sole è identico col moto apparente del sole intorno ad essa, trovasi egualmente in questo caso. Per dar ragione delle ineguaglianze di questi moti, Copernico aveva conservate le ipotesi di eccentrici e di epicicli sovrapposti, de'quali abbiamo già parlato più volte. Keplero, discutendo i numerosi risultati delle osservazioni fatte da Tycho-Brahé, trovò le vere leggi del moto dei pianeti.

Occupandosi primamente dello studio del moto di Marte, vide che non era possibile ammettere che questo pianeta descrivesse un circolo, supponendo anche che il centro di questo circolo fosse ad una certa distanza dal centro del sole: l'orbita del pianeta, quale esso la trovò, presentava una sensibilissima depressione in una certa direzione, e riconobbe che poteva considerarla come un'ellisse avente uno de' fochi nel centro del sole. Estese questo risultato agli altri pianeti, studiò la legge secondo cui ognuno d'essi percorre la sua orbita ellittica, e giunse così alla scoperta delle tre seguenti leggi che immortalarono il suo nome svincolando affatto il sistema del mondo dalle ipotesi ond'era stato inceppato pel corso di tanti secoli.

Prima legge. — I pianeti descrivono intorno al sole delle ellissi di cui quest'astro occupa uno dei fochi.

Seconda legge. — Le aree delle porzioni d'ellisse percorse successivamente dalla retta che congiunge un pianeta col sole sono tra esse come i tempi impiegati a percorrerle.

Terza legge. — I quadrati dei tempi delle rivoluzioni dei pianeti intorno al sole sono tra essi come i cubi dei grandi assi delle loro orbite.

Abbiamo già avuto occasione (147) d'annunciare le due prime di queste leggi quando ci occupavamo del moto apparente del sole intorno alla terra, moto che è lo stesso di quello della terra intorno al sole. La terza legge stabilisce un legame tra i moti dei diversi pianeti confrontati tra loro.

Osserviamo di passaggio che, soddisfacendo il moto della terra intorno al sole alle leggi di Keplero, si ha in ciò una fortissima prova in favore del sistema di Copernico. Non solo il moto della terra, considerato isolatamente, si effettua di conformità alle due prime leggi, vale a dire ch'esso è affatto della stessa natura di quelli dei pianeti; ma anche paragonandolo ai moti dei pianeti, si trova che la terza legge è pienamente soddisfatta altresì da questi ultimi moti confrontati tra loro a due a due. Quest'ultima circostanza sopra tutto non lascia esitare nel considerare la terra realmente quale un pianeta muoventesi come tutti gli altri intorno al sole.

262. Spiegazione delle stazioni e delle retrogradazioni dei pianeti. — Partendo dalla terza legge di Keplero è facile il dar ragione delle stazioni e retrogradazioni che si osservano nel moto apparente dei pianeti. Per semplificare per quanto è possibile, non terremo conto dell'ellitticità delle orbite ch'essi descrivono intorno al sole, e supporremo, il che non si scosta molto dalla realtà, ch'essi muovansi uniformemente descrivendo delle circonferenze di cerchio aventi il sole nel centro comune.

Se tutti i pianeti fossero animati della stessa velocità le durate delle loro rivoluzioni non sarebbero uguali, poichè le dimensioni delle loro orbite sono assai diverse le une dalle altre; ed è chiaro che le durate delle rivoluzioni sarebbero proporzionali alle lunghezze delle circonferenze descritte intorno al sole, od anche ai raggi di queste circonferenze, vale a dire alle distanze dei diversi pianeti da quest'astro centrale. I quadrati dei tempi delle rivoluzioni sarebbero dunque egualmente proporzionali ai quadrati delle distanze dei pianeti dal sole, per modo che pei pianeti le cui distanze dal sole fossero rappresentate dai numeri 1, 2, 3, i quadrati dei tempi delle rivoluzioni sarebbero tra essi come i numeri 1, 4, 9. Ma per la terza

legge di Keplero i quadrati dei tempi delle rivoluzioni dei pianeti sono tra essi come i cubi dei grandi assi delle loro orbite, vale a dire come i cubi delle distanze dei pianeti dal sole, nel caso dei moti circolari ed uniformi quali ora noi ammettiamo. Per pianeti situati a distanze 1, 2, 3 dal sole, questi quadrati dei tempi delle rivoluzioni sono dunque realmente tra essi come i numeri 1, 8, 27. Si vede pertanto che le durate delle rivoluzioni dei pianeti, prendendoli nell'ordine delle loro distanze dal sole e cominciando da Mercurio, che ne è il più vicino, vanno aumentando molto più rapidamente che se le velocità assolute dei pianeti fossero tutte le stesse. Ne risulta necessariamente che le velocità dei diversi pianeti sono tanto più piccole quanto più essi sono lontani dal sole: nello stesso intervallo di tempo Venere percorre meno cammino di Mercurio, la terra ne percorre meno di Venere, Marte meno della terra, e così di seguito. È per questa circostanza che noi possiamo spiegare le stazioni e le retrogradazioni dei pianeti.

Consideriamo dapprima un pianeta inferiore, per esempio Venere, e supponiamo ch'esso si trovi precisamente tra il sole e la terra (fig. 338). Mentre la terra va da T in T′, Venere percorre un cammino V V′, che è maggiore di T T′, poichè la sua velocità è maggiore di quella della terra: la retta V′ T′ è quindi obbliqua rispetto alla retta V T; la direzione secondo la quale vedesi il pianeta ha cambiato, e ciò per tal modo da sembrare che il pianeta sia camminato nella direzione della freccia, vale a dire con moto retrogrado. Se Venere invece si trovasse al punto V″ della sua orbita, quando la terra è in T, essa si trasporterebbe in V‴ mentre la terra andrebbe in T′, e il suo moto apparente sarebbe evidentemente con direzione contraria alla freccia, vale a dire sarebbe moto diretto. Il pianeta è dunque animato ora di moto diretto, ora di moto retrogrado; ma esso non può passare dall'uno all'altro senza che la sua velocità apparente divenga nulla in un certo istante, vale a dire senza ch'esso sembri stazionario nel cielo. Una tal circostanza si presenta quando il pianeta è così situato nella sua orbita

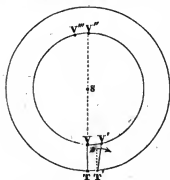



Fig. 338.

che la retta che lo congiunge alla terra si mantiene parallela a sè stessa, malgrado la differenza che esiste tra il cammino ch'esso percorre e quello che nello stesso tempo percorre la terra.

Le stazioni e retrogradazioni dei pianeti superiori spiegansi con pari facilità. Supponiamo dapprima che Marte, a cagion d'esempio, sia in opposizione (fig. 339). Mentre la terra percorre il cammino T T', Marte ne percorre uno minore M M'; il pianeta che si vedeva dapprima secondo la direzione T M, apparisce dunque in appresso secondo la direzione T' M', vale a dire ch'esso sembra muoversi come è indicato dalla freccia, il che altro non è che moto retrogrado. Al contrario quando il pianeta trovasi in congiunzione, in M'', esso va da M'' in M''' mentre la terra va da T in T', e il suo moto apparente è diretto. Esso apparisce stazionario quando la differenza di lunghezza dei cammini che la terra ed esso percorrono nello stesso tempo è compensata dalla differenza d'obbliquità di questi due cammini rispetto alla retta che congiunge i due pianeti, per modo che questa retta si mantiene per qualche tempo parallela a sè stessa.

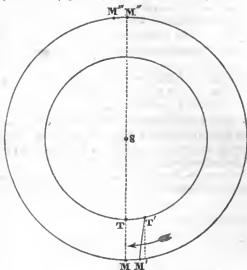



Fig. 339.

263. Legge di Bode. — Fra le distanze dei pianeti dal sole esiste una legge notevole, per la quale si possono facilmente ricordare i valori di queste distanze. Questa legge è generalmente nota sotto il nome di *legge di Bode*, sebbene l'astronomo Bode, che pubblicolla nel 1778, non ne sia propriamente l'autore. Ecco in che cosa consiste:

Scriviamo di seguito l'uno all'altro i numeri

0, 3, 6, 12, 24, 48, 96,

tali che, fatta astrazione dal primo, ognuno d'essi è doppio dell'antecedente: aggiungiamo 4 unità a ciascuno di questi numeri, ed avremo:

4, 7, 10, 16, 28, 52, 100.

Questi nuovi numeri, ad eccezione del 28, sono sensibilmente proporzionali alle distanze dei pianeti dal sole. Infatti moltiplicando per 10 i valori che abbiamo precedentemente assegnati a queste distanze (259), trovansi i numeri seguenti:

Mercurio,	Venere,	Terra,	Marte,	. . . .,	Giove,	Saturno.
3.9	7,2	10	15,2	. . . .	52,0	95,4.

Sono questi, come si vede, press'a poco i numeri che abbiamo trovati per mezzo della regola indicata; non havvi che l'ultimo, quello cioè che si riferisce a Saturno, pel quale vi sia una differenza alquanto notevole.

La legge di Bode non dev'essere considerata che come un mezzo semplice per ritrovare press'a poco i valori delle distanze dei pianeti dal sole: essa non si rannoda a nessuna considerazione teorica.

264. **Scoperta di nuovi pianeti.** — L'uso dei cannocchiali e dei telescopii per osservare le diverse regioni del cielo fece sì che si potè aumentare considerevolmente la lista dei pianeti che si possono discernere. In luogo di sei pianeti (compresa la terra) de' quali finora abbiamo parlato, e che erano i soli noti ai tempi di Copernico e di Keplero, se ne contano ora quarantadue; e da quanto avvenne in questi ultimi anni, è probabile che non passerà lungo tempo senza che il numero ne sia ancora cresciuto.

Il 13 marzo 1781 Herschel esaminava le piccole stelle della costellazione dei Gemelli con un telescopio di considerevole ingrandimento, quando s'accorse che una di esse, in luogo di ridursi a un semplice punto luminoso come le altre, mostravasi con sensibili dimensioni: l'uso di maggiori ingrandimenti aumentava ancora il suo diametro apparente. Fermandosi specialmente all'osservazione di quest'astro, Herschel riconobbe ben tosto ch'essa trovavasi in moto rispetto alle stelle vicine; credette per qualche tempo che fosse una cometa, ma non tardò ad assicurarsi ch'era un pianeta il quale muovevasi intorno al sole come i pianeti conosciuti, mantenendosi press'a poco alla stessa distanza da quest'astro centrale. e non allontanandosi molto

dal piano dell'eclittica: questo pianeta ricevette il nome di *Urano*. La sua distanza dal sole è uguale a 19,18, prendendo per unità la distanza del sole dalla terra; esso è dunque situato al di là di Saturno ad una distanza dal sole press'a poco doppia di quella di quest'ultimo pianeta. La legge di Bode trovàsi ancora sensibilmente vera per Urano; poichè il numero ch'essa somministra pel pianeta che immediatamente vien dopo Saturno è 196. che molto non differisce dal numero 191,8 che si ottiene moltiplicando per 10 la distanza d'Urano dal sole.

La serie dei pianeti, che era stata aumentata colla scoperta d'Urano nel 1781, lo fu di nuovo nel 1846 colla scoperta di *Nettuno*, la cui distanza dal sole è ancora maggiore di quella di Urano. Parleremo più innanzi delle notevoli circostanze che condussero alla cognizione di questo nuovo pianeta, osservato per la prima volta il 23 settembre 1846 dal signor Galle, di Berlino, seguendo le indicazioni del signor Le Verrier. Le osservazioni hanno mostrato che la distanza di Nettuno dal sole è uguale a 30,04: la legge di Bode trovasi qui notevolmente in difetto. poichè essa indica il numero 388 pel pianeta che segue immediatamente Urano, mentre moltiplicando per 10 la distanza di Nettuno dal sole, non si ottiene che 300,4.

Gli astronomi fino al presente non trovarono alcun pianeta circolante intorno al sole ad una distanza da quest'astro maggiore di quella di Nettuno: l'orbita di Nettuno forma quindi il limite esteriore del sistema planetario quale noi lo conosciamo.

La legge di Bode, annunciata prima della scoperta di Urano, scoperta che servì a confermarne la quasi assoluta esattezza, mostrava una lacuna tra Marte e Giove: nessun pianeta conosciuto corrispondeva al numero 28, compreso tra quelli che riferivansi a questi due pianeti. Una tal lacuna venne sovrabbondantemente riempiuta al principio del secolo attuale colla successiva scoperta di 34 piccoli pianeti muoventisi tutti nella regione indicata dalla legge di Bode.

Faremo ora l'enumerazione di questi 34 pianeti secondo l'ordine di loro scoperta, designandoli coi nomi che gli astronomi hanno loro attribuiti (*).

(*) All'epoca della pubblicazione del testo francese questi pianeti ammontavano soltanto a 27: a completarne l'elenco abbiamo aggiunto in fine i sette pianeti scoperti in appresso cioè *Bellona*, *Anfitrite*, *Urania*, *Eufrosine*, *Pomona*, *Polinnia*, e l'ultimo ancora *anonimo*; di questi i primi due trovansi annunciati anche nell'appendice del testo francese. Alle medie distanze dal sole date dall'autore furono sostituite quelle

Cerere, scoperto da Piazzi, a Palermo, il 1.° gennajo 1801; la sua distanza dal sole è 2,77. Moltiplicando una tale distanza per 10, trovasi 27,7 in luogo di 28, indicato dalla legge di Bode.

Pallade, scoperto da Olbers, a Brema, il 28 marzo 1802; la sua distanza dal sole è 2,77.

Giunone, scoperto da Harding, a Gottinga, il 1.° settembre 1804; la sua distanza dal sole è 2,67.

Vesta, scoperto da Olbers, a Brema, il 29 marzo 1807; la sua distanza dal sole è 2,36.

Astrea, scoperto da Hencke, a Driessen, l'8 dicembre 1845; la sua distanza dal sole è 2,58.

Ebe, scoperto da Hencke, a Driessen, il 1.° luglio 1847; la sua distanza dal sole è 2,43.

Iride, scoperto da Hind, a Londra, il 13 agosto 1847; la sua distanza dal sole è 2,39.

Flora, scoperto da Hind, a Londra, il 18 ottobre 1847; la sua distanza dal sole è 2,20.

Metide, scoperto da Graham, a Markrée (Irlanda), il 26 aprile 1848; la sua distanza dal sole è 2,39.

Igea, scoperto da De Gasparis, a Napoli, il 14 aprile 1849; la sua distanza dal sole è 3,15.

Partenope, scoperto da De Gasparis, a Napoli, l'11 maggio 1850; la sua distanza dal sole è 2,45.

Vittoria o *Clio*, scoperto da Hind, a Londra, il 13 settembre 1850; la sua distanza dal sole è 2,33.

Egeria, scoperto da De Gasparis, a Napoli, il 2 novembre 1850; la sua distanza dal sole è 2,58.

Irene, scoperto da Hind, a Londra, il 19 maggio 1851 (*); la sua distanza dal sole è 2,59.

Eunomia, scoperto da De Gasparis, a Napoli, il 29 luglio 1851; la sua distanza dal sole è 2,64.

Psiche, scoperto da De Gasparis, a Napoli, il 17 marzo 1852; la sua distanza dal sole è 2,92.

Tetide, scoperto da Luther, a Bilk, presso Dusseldorf, il 17 aprile 1852; la sua distanza dal sole è 2,47.

che trovansi pubblicate nelle *Effemeridi di Berlino* (*Astronomisches Jahrbuch*) per l'anno 1857, presumibilmente più esatte perchè più recentemente calcolate. Anche nella tavola a pag. 549, agli elementi dati dall'autore abbiamo sostituiti quelli tolti dalle medesime effemeridi.

(*) Tre giorni dopo anche De Gasparis, a Napoli, lo scoprì senza sapere dell'antecedente scoperta fatta da Hind.

Melpomene, scoperto da Hind, a Londra, il 24 giugno 1852; la sua distanza dal sole è 2,30.

Fortuna, scoperto da Hind, a Londra, il 22 agosto 1852; la sua distanza dal sole è 2,44.

Massalia, scoperto insieme da De Gasparis, a Napoli, il 19 settembre 1852, e da Chacornac, a Marsiglia, il domani 20 settembre; la sua distanza dal sole è 2,41.

Lutezia, scoperto da Goldschmidt, a Parigi, il 15 novembre 1852; la sua distanza dal sole è 2,44.

Calliope, scoperto da Hind, a Londra, il 16 novembre 1852; la sua distanza dal sole è 2,91.

Talia, scoperto da Hind, a Londra, il 15 dicembre 1852; la sua distanza dal sole è 2,63.

Temide, scoperto da De Gasparis, a Napoli, il 6 aprile 1853; la sua distanza dal sole è 3,17.

Focèa, scoperto da Chacornac, a Marsiglia, lo stesso giorno 6 aprile 1853; la sua distanza dal sole è 2,40.

Proserpina, scoperto da Luther, a Bilk, il 5 maggio 1853; la sua distanza dal sole è 2.66.

Euterpe, scoperto da Hind, a Londra, l'8 novembre 1853; la sua distanza dal sole è 2,55.

Bellona, scoperto da Luther, a Bilk, il 1.° marzo 1854; la sua distanza dal sole è 2,78.

Anfitrite, scoperto da Alberto Marth, a Londra, all'osservatorio di Regent's Park, diretto da Hind, lo stesso giorno 1.° marzo 1854; la sua distanza dal sole è 2,55. Sembra che Chacornac avesse veduto questo pianeta a Marsiglia il 4 febbrajo, vale a dire un mese prima che sia stato veduto a Londra, ma il silenzio da esso conservato a questo riguardo fino al 5 marzo, e che non si sa spiegare, lascia ad Alberto Marth tutto l'onore della scoperta.

Urania, scoperto da Hind, a Londra, il 22 luglio 1854; la sua distanza dal sole è 2,36.

Eufrosine, scoperto da Ferguson, a Cambridge in America, il 2 settembre 1854; la sua distanza dal sole è 3,19.

Pomona, scoperto da Goldschmidt, a Parigi, il 26 ottobre 1854; la sua distanza dal sole è 2,59.

Polinnia, scoperto da Chacornac, a Parigi, il 28 ottobre 1854; la sua distanza dal sole è 2,58.

Anonimo, scoperto da Chacornac, a Parigi, il 6 aprile 1855.

265. **Elementi del moto dei pianeti.** — L'osservazione mostra che i nuovi pianeti soddisfanno al par degli antichi alle tre

leggi di Keplero. Ognuna d'essi descrive un ellisse di cui il sole occupa uno de' fochi, e percorre la sua orbita ellittica seguendo la legge delle aree: confrontando le durate delle loro rivoluzioni, sia tra esse sia con quelle de' sei pianeti noti fino dal tempo di Keplero, si riconosce che i quadrati di queste durate sono proporzionali ai cubi degli assi maggiori delle orbite. Per compiere di dare una conveniente idea del sistema planetario faremo conoscere i principali elementi dei moti ellittici dei diversi pianeti, vale a dire: il semi-asse maggiore di ogni orbita, che non è altro che la distanza media del pianeta dal sole; la durata della rivoluzione siderea, che è legata al semi-asse maggiore per la terza legge di Keplero; l'eccentricità dell'orbita, che fa conoscere la differenza che presenta quest'orbita con un circolo; infine l'inclinazione del piano dell'orbita sul piano dell'eclittica. Divideremo perciò i pianeti in due gruppi, il primo contenente gli antichi pianeti con Urano e Nettuno, il secondo che comprende l'insieme dei piccoli pianeti che circolano nella regione compresa tra Marte e Giove.

GRUPPO DEI PIANETI PRINCIPALI

NOMI dei pianeti.	DISTANZE medie dal sole.	DURATE delle rivoluzioni		ECCEN-TRICITA'	INCLINA-ZIONI
		in giorni.	in anni.		
Mercurio. .	0,387 10	87 g.969	0 an. 24	0,205 61	7° 0′ 5″
Venere. . .	0,723 33	.224, 701	0, 62	0,006 86	3 23 29
Terra. . . .	1,000 00	365, 256	1, 00	0,016 79	0 0 0
Marte. . . .	1,523 69	686, 980	1, 88	0,093 22	1 51 6
Giove. . . .	5,202 77	4 332, 585	11, 86	0,048 16	1 18 52
Saturno. . .	9,538 85	10 759, 220	29, 46	0,056 15	2 29 36
Urano. . . .	19,182 4	30 686, 820	84, 02	0,046 7	0 46 28
Nettuno. . .	30,04	60 127,	164, 6	0,008	1 46 59

GRUPPO DEI PICCOLI PIANETI

NOMI dei pianeti.	DISTANZE medie dal sole.	DURATE delle rivoluzioni in giorni.	in anni.	ECCEN-TRICITA'	INCLINA-ZIONI
Flora. . . .	2,201 39	1 193 g. 005	3 an. 27	0,156 70	5 53′ 8″
Melpomene.	2,295 75	1 270, 534	3, 48	0,217 15	10 9 2
Vittoria. . .	2,334 68	1 302, 984	3, 57	0,218 25	8 23 6
Euterpe. . .	2,345 30	1 311, 889	3, 59	0,173 54	1 35 29
Vesta. . . .	2,361 70	1 325, 669	3, 63	0,088 84	7 8 25
Urania. . .	2,362 79	1 326, 582	3, 63	0,124 01	2 6 6
Polinnia. .	2,378 79	1 340, 084	3, 67	0,224 39	1 22 21
Iride. . . .	2,386 06	1 346, 234	3, 69	0,230 60	5 27 57
Metide. . .	2,386 44	1 346, 556	3, 69	0,123 62	5 35 54
Focèa. . . .	2,400 67	1 358, 620	3, 72	0,253 13	21 36 5
Massalia. .	2,407 50	1 364, 417	3, 74	0,145 38	0 40 47
Ebe.	2,425 98	1 380, 155	3, 78	0,202 10	14 46 42
Lutezia. . .	2,435 23	1 388, 060	3, 80	0,161 63	3 5 22
Fortuna. . .	2,443 04	1 394, 742	3, 82	0,158 43	1 32 28
Partenope .	2,448 10	1 399, 074	3, 83	0,098 03	4 36 54
Tetide. . .	2,473 44	1 420, 857	3, 89	0,127 86	5 35 41
Anfitrite. .	2,552 24	1 489, 296	4, 08	0,067 48	6 7 47
Astrea. . .	2,577 41	1 511, 374	4, 14	0,188 75	5 19 22
Egeria. . .	2,578 27	1 512, 132	4, 14	0,085 38	16 33 2
Pomona. .	2,585 06	1 518, 111	4, 16	0,085 69	5 39 3
Irene. . . .	2,585 24	1 518, 262	4, 16	0,168 72	9 6 45
Talia. . . .	2,625 88	1 554, 210	4, 26	0,235 39	10 13 59
Eunomia. .	2,643 41	1 569, 801	4, 30	0,187 83	11 44 0
Proserpina.	2,655 72	1 580, 781	4, 33	0,087 28	3 35 36
Giunone. .	2,669 10	1 592, 736	4, 36	0,256 08	13 3 17
Cerere. . .	2,766 92	1 681, 098	4, 60	0,076 37	10 37 12
Pallade. . .	2,772 40	1 686, 089	4, 62	0,249 43	34 37 20
Bellona. . .	2,780 73	1 693, 694	4, 64	0,162 88	9 25 7
Calliope. .	2,913 79	1 816, 705	4, 97	0,104 07	13 45 2
Psiche. . .	2,922 57	1 824, 927	5, 00	0,134 65	3 4 9
Igea. . . .	3,149 39	2 041, 441	5, 59	0,100 56	3 47 9
Temide. . .	3,165 05	2 056, 692	5, 63	0,124 36	0 49 33
Eufrosine. .	3,192 29	2 083, 296	5, 70	0,229 42	26 53 26
Anonimo. .					

Perchè il moto d'un pianeta sia compiutamente conosciuto non basta avere i valori degli elementi contenuti nei precedenti quadri. L'inclinazione del piano dell'orbita sull'eclittica non può far conoscere da sola la posizione di questo piano; bisogna aggiungervi l'indicazione della direzione della retta d'intersezione

di questo piano dell'orbita col piano dell'eclittica, vale a dire della linea dei nodi del pianeta. La media distanza del pianeta dal sole, e l'eccentricità della sua orbita fanno, è vero, conoscere la forma e le dimensioni di quest'orbita, ma bisogna in oltre che venga data la direzione del suo asse maggiore perchè sia compiutamente determinata la posizione dell'orbita nel suo piano: finalmente, conosciuta la posizione e le dimensioni dell'orbita del pianeta, bisogna ancora indicare il punto dell'orbita in cui esso si trova ad un'epoca data. La durata della rivoluzione combinata colla legge delle aree basta allora perchè si possa trovare la posizione che occupa il pianeta nello spazio ad un'epoca qualunque.

Il moto d'un pianeta dipende dunque da sei elementi, i quali sono: 1.° l'inclinazione del piano dell'orbita sull'eclittica; 2.° l'angolo che la linea dei nodi dell'orbita fa con una linea fissa condotta pel centro del sole; 3.° il semi-asse maggiore dell'ellisse, o, ciò che è lo stesso, la media distanza del pianeta dal sole; 4.° l'eccentricità dell'ellisse; 5.° l'angolo che l'asse maggiore dell'ellisse fa colla linea dei nodi del piano dell'orbita; 6.° finalmente l'angolo che il raggio condotto dal pianeta al sole fa coll'asse maggiore dell'orbita ad un'epoca data. La durata della rivoluzione del pianeta non forma un elemento distinto da quelli che abbiamo enumerati, poichè questa durata è conosciuta mediante la terza legge di Keplero dal momento che si conosce il semi-asse maggiore dell'orbita.

Nei precedenti quadri non abbiamo dato per ciascun pianeta che tre de' sei elementi che ne determinano il moto; la conoscenza degli altri tre elementi non offrirebbe alcun interesse alle persone che non si occupano in modo speciale di ricerche astronomiche.

266. **Particolari sui diversi pianeti.** — Dei due pianeti inferiori Venere è quello su cui gli astronomi possono più facilmente portare le loro investigazioni: cominceremo quindi da esso.

L'osservazione di certe macchie che veggonsi sul disco di Venere mostra che questo pianeta è animato d'un moto di rotazione sopra sè stesso; moto che si compie nel medesimo verso della rivoluzione del pianeta intorno al sole, vale a dire d'occidente verso oriente. Schroëter ha trovato ch'esso fa un intiero giro in 23^{ore} 21′ 19″; ed ha valutato a 75° l'angolo che il piano del suo equatore fa col piano della sua orbita. Vedesi da ciò che sulla superficie di Venere i giorni sono press'a poco

uguali ai nostri; la durata dell'anno vi è di circa 225 de' nostri giorni. Le stagioni vi sono molto più pronunciate che sulla terra, poichè l'angolo che corrisponde all'obbliquità dell'eclittica è di 75° in luogo di 23° ½: non v'hanno quindi zone temperate sulla superficie di Venere; giacchè in ogni emisfero la zona torrida e la zona glaciale si congiungono, anzi si sovrappongono per gran parte l'una all'altra.

Venere è circondata da un'atmosfera la cui presenza è resa sensibile da un fenomeno crepuscolare analogo a quello che avviene sulla terra: l'emisfero del pianeta, che è rivolto dalla parte opposta al sole, trovasi leggermente illuminato su tutto il suo contorno e per una certa larghezza dalla luce diffusa nell'atmosfera, per modo che vi ha una diminuzione graduata di luce dalla parte della superficie direttamente rischiarata dal sole fino a quella che è nell'oscurità. L'atmosfera di Venere è paragonabile alla nostra; Schroëter valuta a 30′ ½ la rifrazione orizzontale prodotta da essa, mentre nella nostra atmosfera questa rifrazione orizzontale è, com'è noto, di 33′ ¾ (58).

Il contorno circolare della fase di Venere sembra molto più luminoso che il resto della parte illuminata. Una tale particolarità si può spiegare mediante la presenza di nubi natanti nell'atmosfera, la cui superficie pallida ci manderebbe più luce delle altre parti del disco; tanto più che le nubi situate al lembo esterno della fase ricevono la luce del sole più direttamente di quelle che sono situate in qualunque altro punto della parte che noi discerniamo.

La linea di separazione dell'ombra e della luce sul pianeta presenta talvolta delle addentellature sensibili, come ha luogo per la luna; talvolta anche i corni della fase sono troncati, il che deriva dall'esistere sopra Venere delle asperità o delle montagne di un'altezza assai maggiore di quelle delle principali montagne della terra: anzi ciò condusse ad ammettere che l'altezza di alcune montagne di Venere raggiungesse la 144ª parte del raggio del pianeta: sulla terra l'altezza dei picchi più elevati dell'Himalaya non è che la 740ª parte del raggio terrestre (*).

Quando Venere passa tra il sole e la terra, per modo da projettarsi sul disco del sole, appare sotto la forma di una macchia nera esattamente circolare; e le misure fatte sopra questa macchia non manifestarono alcun sensibile schiacciamento. È bene aggiungere che uno schiacciamento simile a quello del globo terrestre sarebbe troppo debole per poter essere distinto

(*) Vedi la nota a pag. 452.

in simili circostanze, a cagione della piccolezza del diametro apparente di Venere, il quale, all'epoca de' suoi passaggi sul disco del sole, non è guari che d'un minuto.

Il diametro apparente di Venere varia considerevolmente da un'epoca all'altra: quando il pianeta trovasi ad una distanza dalla terra uguale a quella della terra dal sole, questo diametro apparente, secondo Arago, è di 16",9. Noi sappiamo che il diametro apparente della terra veduta alla stessa distanza è il doppio della parallasse orizzontale del sole, e che per conseguenza è uguale a 17",2; da ciò si conclude che il raggio di Venere è di 0,985 del raggio della terra. Il volume di Venere è 0,957 del volume del globo terrestre (*).

Venere si mostra sempre come una stella brillantissima. Quand'essa trovasi all'oriente del sole, la si vede alla sera dopo il tramonto di quest'astro; allora la si comincia a discernere molto tempo prima che la luce crepuscolare sia tanto indebolita da lasciar vedere le stelle che le sono vicine: parimenti quand'essa è all'occidente del sole, la si vede alla mattina, e l'aurora non la fa scomparire che per l'ultima. Il suo splendore varia necessariamente da un'epoca all'altra a cagione delle fasi che presenta successivamente, come pure a cagione della considerevole variazione del suo diametro apparente: a certe epoche il suo splendore è tale che facilmente la si discerne di pieno giorno ad occhio nudo. Coi cannocchiali e coi telescopii la si può osservare anche quando non è che a piccola distanza dal sole.

267. Essendo il pianeta Mercurio molto più vicino al sole di Venere, l'osservazione delle particolarità che presenta la sua superficie non può eseguirsi altrettanto facilmente che per Venere. Si ottennero però alcuni risultati quali verremo indicando.

Schroëter ha riconosciuto che Mercurio ruota sopra sè stesso, e che compie un intiero giro in 24 ore e 4 o 5 minuti: l'equatore del pianeta è quasi perpendicolare al piano della sua orbita. Tenendo conto della leggera obbliquità del primo di questi due piani sul secondo, vedesi che il moto di rotazione si compie da occidente verso oriente.

Schroëter attribuisce a Mercurio un'atmosfera press'a poco di ugual densità di quella di Venere: esso ha riconosciuto l'esistenza di montagne, la massima altezza delle quali valuta ad $\frac{1}{126}$ del raggio del pianeta.

(*) La superficie di Venere è 0,971 di quella della terra.

L'osservazione di Mercurio all'epoca de' suoi passaggi davanti al disco del sole l'ha sempre mostrato sotto forma d'un circolo, senz'alcuna traccia di schiacciamento.

Il diametro apparente di Mercurio, quando la sua distanza dalla terra è uguale alla distanza media della terra dal sole, ha un valore di 6",7; se ne conclude quindi che il raggio di Mercurio è 0,391 del raggio terrestre (*).

Mercurio è assai di rado visibile ad occhio nudo; perchè ciò accada fa mestieri ch'esso trovisi in vicinanza alle sue massime digressioni orientali ed occidentali. Di solito non lo si può osservare che coi cannocchiali.

268. Tra i pianeti superiori Marte è quello che si avvicina di più a noi: all'epoca delle sue opposizioni esso non è guari lontano dalla terra che della metà della distanza della terra dal sole: si può quindi assai facilmente osservare ciò che avviene alla superficie di questo pianeta.

Dall'osservazione delle macchie permanenti che presenta il disco del pianeta, Herschel ha trovato ch'esso ruota sopra sè stesso da occidente verso oriente, e che impiega 24^{ore} 39′ 21″,7 (**) a compiere un intiero giro; e secondo lo stesso astronomo, il suo equatore è inclinato di 28° 42′ sul piano della sua orbita. Vedesi dunque che sopra questo pianeta devono aver luogo stagioni analoghe alle nostre: la sua superficie deve presentare, come la superficie della terra, una zona torrida, delle zone temperate ed una zona glaciale, con questa sola differenza, che le zone temperate sono alquanto più strette su Marte che sulla terra.

Avendo Herschel riconosciuto dei cangiamenti sensibili nelle apparenze di certe macchie permanenti, conchiuse che Marte era circondato d'una considerevole atmosfera.

Abbiamo detto (256) che Marte presenta qualche principio di fasi; a certe epoche il suo disco si restringe in modo sensibile secondo la retta che congiunge il pianeta col sole. Quando Marte è in opposizione non vi ha traccia di fase, e il pianeta si mostra sotto la sua vera forma. Possiamo allora assicurarci facilmente che la sua superficie ha la forma d'uno sferoide schiacciato come la terra, ma lo schiacciamento ne è molto più pronunciato; secondo Arago questo schiacciamento è per certo superiore ad $\frac{1}{50}$.

(*) La superficie di Mercurio è dunque 0,153 di quella della terra, e il suo volume di 0,060 di quello della terra.

(**) Dalle osservazioni fatte da Maedler e Beer dal 1830 al 1832, la durata della rotazione di Marte sarebbe di 24^{ore} 37′ 23″.

Ciò che presenta Marte di più notevole sono due macchie bianche situate nelle regioni vicine ai due poli del pianeta: tali macchie sono probabilmente dovute ad ammassi di neve e di ghiaccio simili a quelli che esistono nelle regioni polari della terra. Ciò che ci conferma in questa opinione si è che le due macchie aumentano e diminuiscono alternatamente di grandezza; e queste variazioni sono talmente collegate colle diverse posizioni che l'asse di rotazione del pianeta assume successivamente rispetto al sole che è impossibile non iscorgervi l'effetto delle variazioni di temperatura che a certe epoche determinano la fusione dei ghiacci verso uno dei poli e il progressivo aumento dei ghiacci verso l'altro polo, mentre ad altre epoche si producono i fenomeni inversi. La figura 340 rappresenta Marte colle due macchie polari di cui abbiamo parlato; il suo disco è leggermente depresso nel senso trasversale, poichè il pianeta è figurato ad un'epoca nella quale l'emisfero ch'esso volge verso la terra non è totalmente illuminato dal sole, ciò che rende invisibile una porzione di quest'emisfero.

Fig. 340.

Il diametro apparente di Marte alla media distanza del sole dalla terra è uguale a $8'',9$; e ne risulta che il raggio di questo pianeta è 0,519 del raggio terrestre (*).

Marte apparisce ad occhio nudo come una bella stella di una tinta rossastra, molto meno brillante di Venere.

269. Giove è da noi molto più lontano di Marte; ma la grandezza di questo pianeta fa sì che il suo disco assuma dimensioni sensibili anche quando lo si osserva con un cannocchiale di debole ingrandimento.

La sua superficie presenta delle fasce trasversali (fig. 341), aventi press'a poco la direzione dell'eclittica. Vi si discernono pure di tempo in tempo delle macchie più o meno pronunciate, me-

(*) La superficie di Marte è dunque 0,269 di quella della terra, e il suo volume 0,140 di quello della terra.

diante le quali si riconosce che il pianeta ruota sopra sè stesso d'occidente verso oriente intorno ad un asse quasi perpendicolare al piano della sua orbita. Herschel, che ha studiato la rotazione di questo pianeta, ha trovato, pel tempo ch' esso impiega a compiere un giro, dei numeri che variano tra 9ore 50′ 48″ e 9ore 55′ 40″ (*). Parve a lui che l'equatore di Giove facesse un angolo di 2 a 3 gradi col piano della sua orbita; per cui avviene che le stagioni debbano essere assai poco sensibili sulla sua superficie.

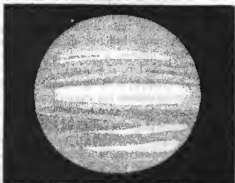



Fig. 341.

Herschel attribuisce le fasce a correnti atmosferiche analoghe ai nostri venti alisei (139). Secondo lui le macchie che veggonsi sul disco, e la cui osservazione serve a determinare la durata della rotazione del pianeta, sono dovute a nubi natanti nell'atmosfera; la mobilità di simili nubi, rispetto al pianeta, spiega perchè per questa durata non si trovi sempre il medesimo valore.

Giove è sensibilmente schiacciato nella direzione del suo asse di rotazione; e basta uno sguardo alla figura 341 per avvedersene: lo schiacciamento è di circa $\frac{1}{17}$.

Dalle misurazioni eseguitesi sul diametro apparente di Giove si riconobbe che se il pianeta si trovasse ad una distanza dalla terra uguale alla media distanza della terra dal sole, il suo diametro equatoriale sarebbe veduto sotto un angolo di 193″; il raggio di Giove è dunque uguale a 11,225 volte il raggio della terra (**).

Giove si mostra ad occhio nudo come una delle stelle più brillanti: il suo splendore è press'a poco uguale a quello di Venere.

(*) Secondo più recenti osservazioni fatte da Airy, la rotazione di Giove si compirebbe in 9ore 55′ 21″, 3.

(**) La superficie di Giove è pertanto 126,675 rispetto a quella della terra, e il suo volume 1425,728 pure rispetto a quello della terra.

Osservando Giove con un cannocchiale vedesi che questo bel pianeta è sempre accompagnato da punti brillanti che si spostano rapidamente rispetto ad esso, passando ora dalla parte d'oriente, ora dalla parte d' occidente, pur rimanendo sensibilmente sopra una retta condotta press'a poco secondo l'eclittica. Questi punti brillanti altro non sono che piccoli corpi che circolano intorno a Giove, come i pianeti circolano intorno al sole; e si dà loro il nome di *satelliti* di Giove. Sono essi in numero di quattro, e la loro scoperta è dovuta a Galileo, che li vide appena diresse un cannocchiale verso Giove.

L'osservazione ha mostrato che i moti dei satelliti intorno al pianeta si compiono soddisfacendo alle leggi che Keplero ha ritrovate pei moti dei pianeti intorno al sole (261). Il quadro seguente fa conoscere le loro distanze medie dal centro di Giove, prendendo per unità il raggio dell'equatore del pianeta; porge del pari le durate delle loro rivoluzioni sideree espresse in giorni, durate che sono legate colle distanze medie dalla terza legge di Keplero.

	DISTANZE medie.	DURATA delle rivoluzioni.
1.° satellite.	6,05	1 g. 77
2.° satellite.	9,62	3, 55
3.° satellite.	15,35	7, 15
4.° satellite.	27,00	16, 69

Le eccentricità delle orbite dei due primi satelliti sono insensibili; quella del terzo e del quarto sono piccolissime (*): i piani nei quali essi muovonsi non fanno che piccolissimi angoli col piano dell'orbita di Giove: i loro moti sono tutti diretti nel verso della rotazione di Giove, vale a dire d'occidente verso oriente, come i moti dei pianeti intorno al sole. La figura 342, che è fatta colle esatte proporzioni, può dare un'idea delle dimensioni relative di Giove e delle orbite de' suoi satelliti: nella stessa scala la distanza di Giove dal sole sarebbe rappresentata da una lunghezza di circa 17 metri, e il sole lo sarebbe da un circolo di 15 millimetri di raggio, vale a dire da un circolo che sarebbe press'a poco uguale a quello che rappresenta l'orbita del secondo satellite.

(*) L'eccentricità del terzo satellite è 0,0013, quella del quarto 0,0072.

Giove projetta dalla parte opposta a quella del sole un cono ombroso entro il quale i satelliti penetrano di tempo in tempo,

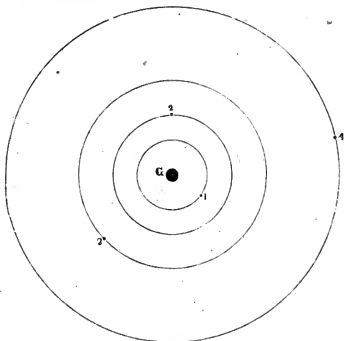



Fig. 342.

ciò che produce degli eclissi analoghi agli eclissi di luna. Essendo questo pianeta molto più grande della terra, e trovandosi in oltre molto più lontano dal sole, la lunghezza del suo cono ombroso è incomparabilmente maggiore di quella del cono ombroso della terra, e stendesi molto lungi al di là dell'orbita del quarto satellite. Risulta pertanto che le dimensioni trasversali del cono nei punti in cui può essere raggiunto dai satelliti sono quasi uguali a quelle del pianeta medesimo; per cui gli eclissi di questi satelliti sono molto più frequenti degli eclissi di luna. I tre primi satelliti penetrano nel cono ombroso ad ognuna delle loro rivoluzioni; il quarto solo passa talvolta a lato del cono senza penetrarvi, quand' esso trovasi nelle parti della sua orbita le più lontane dal piano dell'orbita di Giove.

Gli eclissi dei satelliti di Giove furono indicati come opportuni alla determinazione delle longitudini geografiche; giacchè essendo fenomeni che avvengono nel cielo e che possono essere contemporaneamente osservati da un gran numero di punti della superficie della terra, possono essere con vantaggio sostituiti ai segnali a fuoco de' quali abbiamo parlato al numero 97. Ma la loro osservazione non è suscettibile di molta precisione, giacchè la penombra fa sì che la luce d'un satellite non scemi che gradatamente in luogo d'estinguersi d'un tratto, come accadrebbe se non vi fosse penombra. L'istante in cui un osservatore cessa dal discernere un satellite deve dunque dipendere insieme dalla bontà della sua vista e dalla potenza del cannocchiale di cui fa uso; per modo che due osservatori non veggono generalmente cominciare l'eclisse ad un medesimo istante: la stessa incertezza esiste nell'osservazione della fine d'un eclisse. Per tal modo l'osservazione degli eclissi dei satelliti di Giove, allo scopo di determinare la longitudine del luogo in cui uno si trova, conduce a risultati meno esatti che non il metodo delle distanze lunari che abbiamo fatto conoscere precedentemente (244). Talvolta per altro se ne fa uso, ed è per ciò che qualche anno prima si pubblica nelle *Effemeridi astronomiche* l'indicazione delle ore nelle quali devono incominciare e finire i diversi eclissi dei quattro satelliti di Giove, essendo il tempo riferito comunemente al luogo in cui vien pubblicata l'effemeride.

Quando i satelliti di Giove passano tra il pianeta ed il sole la loro ombra si projetta sul pianeta, e produce dei veri eclissi di sole nei luoghi pei quali essa passa: quest'ombra può essere veduta dalla terra quando si osserva con istrumenti potenti.

Lo splendore dei satelliti varia periodicamente nello stesso tempo che muovonsi intorno al pianeta; Herschel riconobbe che questa variazione di splendore può essere attribuita a ciò che i satelliti ruotano sopra sè stessi in guisa da presentare sempre la stessa faccia verso il pianeta; così noi veggiamo successivamente tutte le parti delle loro superficie, e basta ammettere che queste diverse parti non riflettano ugualmente la luce del sole per dare spiegazione delle variazioni di splendore che si osservano.

Non si conoscono le grandezze dei satelliti; i loro diametri apparenti sono troppo piccoli perchè siansi potuti misurare. È noto soltanto che il terzo è molto più grande degli altri tre, i

quali vanno decrescendo nell'ordine seguente: il quarto, il primo ed infine il secondo (*).

270. Quando Galileo diresse un cannocchiale verso Saturno vide che questo pianeta non aveva la forma arrotondata di Marte e di Giove, ma presentava due protuberanze opposte che gli davano una singolarissima apparenza. Dall'attenta osservazione di queste protuberanze, facendo uso di più forti cannocchiali, Huyghens riconobbe che Saturno è pure una massa globulare come gli altri pianeti, ma che questo globo è circondato da un anello circolare e schiacciato che l'avvolge senza toc-

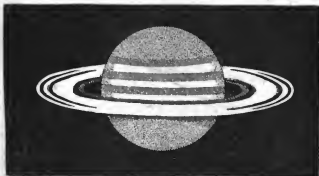



Fig. 343.

carlo in nessun punto. Qualunque sia l'epoca nella quale si osserva Saturno vedesi sempre il suo anello obbliquamente (fig. 343):

(*) Dai valori dei diametri dei pianeti e dei satelliti dati da Hansen risulterebbero per altro le seguenti grandezze dei quattro satelliti di Giove riferite a quelle della Terra e di Giove medesimo.

	DIAMETRI		SUPERFICIE		VOLUME	
	quello della Terra = 1.	quello di Giove = 1.	quella della Terra = 1.	quella di Giove = 1.	quello della Terra = 1.	quello di Giove = 1.
1.° satellite. .	0,300	0.0275	0,0953	0.00075	0,02940	0,000021
2.° satellite. .	0.277	0,0247	0,0769	0 00061	0.02130	0,000015
3.° satellite. .	0,452	0.0402	0,2046	0,00162	0,09257	0,000065
4.° satellite. .	0,387	0,0344	0,1503	0,00119	0,05804	0,000041

la parte anteriore si projetta sul corpo del pianeta; la parte posteriore trovasi nascosta, e le due parti laterali sporgono da una parte e dall'altra formando ciò che chiamansi *le anse* di Saturno. Trasportandosi l'anello parallelamente a sè stesso nel moto del pianeta intorno al sole, la sua obbliquità rispetto alla linea secondo la quale noi lo veggiamo varia dall'una all'altra epoca, come subito si comprende gettando uno sguardo sulla figura 344 in cui S è il sole e T la terra. Risultano pertanto delle

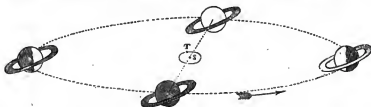



Fig. 344.

mutazioni corrispondenti nella forma sotto cui l'anello ci si presenta: ora l'ellisse che forma il suo contorno apparente esteriore è tanto largo da circondare affatto il disco circolare del pianeta, e non vedesi più il disco sporgere da ciascuna parte dell'anello, come di solito ha luogo (fig. 343); ora, al contrario, quest'ellisse si riduce al suo asse maggiore, l'anello non si mostra che di costa; e lo si vede sotto forma d'una retta che passa pel centro del disco del pianeta stendendosi a una certa distanza dall'una e dall'altra parte dei lembi di questo disco (fig. 345), od anche terminando ai lembi medesimi, non potendo essere vedute le parti estreme (fig. 346). A certe epoche, venendo il piano dell'anello a passare tra la terra ed il sole, esso rivolge verso di noi quella delle sue facce che non è illuminata dal sole, e quindi non possiamo discernerlo; il pianeta non ha allora che l'apparenza d'un globo isolato, come Giove. Questa disparizione dell'anello si riproduce ogni quindici anni circa.

Fig. 345.

Herschel riconobbe sul disco di Saturno l'esistenza delle fasce parallele analoghe a quelle di Giove: l'osservazione ne è più

difficile che per quest' ultimo pianeta a cagione della maggior lontananza di Saturno. Per mezzo di certe macchie che questo illustre astronomo ha veduto spostarsi, e delle quali ha seguito il moto, potè riconoscere che Saturno ruota sopra sè stesso d'occidente verso oriente, e che compie un intiero giro in 10^{ore} 16′ (*). Egli ha in oltre notato nelle regioni polari del pianeta dei cambiamenti di tinta che sembrerebbero indicare ammassi di neve o di ghiaccio come sul pianeta Marte.

Fig. 346.

Il disco di Saturno manifesta nella direzione del suo asse di rotazione uno schiacciamento pronunciatissimo, che fu valutato da Herschel ad $\frac{1}{11}$.

Alla distanza della terra dal sole il diametro equatoriale di Saturno sottenderebbe un angolo di 155″: il raggio di Saturno è dunque uguale a 9,022 essendo 1 quello della terra (**).

L'anello è diretto press'a poco nel piano dell'equatore di Saturno, ed è inclinato di circa $28° \frac{1}{2}$ sul piano dell'eclittica. Prendendo per unità il raggio equatoriale di Saturno, il raggio interno dell'anello è uguale ad 1,66 e il raggio esterno a 2,57. Non si conosce lo spessore dell'anello; è noto soltanto ch'esso è piccolissimo in confronto della sua larghezza.

Osservando l'anello di Saturno con potenti strumenti si riconobbe che non è semplice, ma si compone di più anelli concentrici, le cui linee di separazione sono visibili principalmente verso le anse (fig. 343). Si è pure recentemente potuto discernere un anello oscuro situato internamente agli altri, come vedesi sulla figura: l'esistenza di quest'anello oscuro fa sì che il raggio interno dell'anello generale deve avere un valore più piccolo di quello che abbiamo indicato, giacchè questo valore venne ottenuto senza tener conto dell'anello oscuro che non si era ancora veduto.

Certe irregolarità osservate da Herschel nell'anello di Saturno gli fecero riconoscere ch'esso è animato d'un moto di rotazione

(*) Secondo più recenti determinazioni la rotazione di Saturno sarebbe di 10^{ore} 29′ 17″.

(**) La superficie di Saturno è dunque 81,396 di quella della terra, e il suo volume 734,359 di quello della terra.

nel suo piano, e che compie un intiero giro in 10^{ore} 32′ 15″: questo moto s'effettua d'occidente verso oriente.

Oltre l'anello esistono pure dei satelliti intorno a Saturno, in numero di otto, che muovonsi come quelli di Giove d'occidente verso oriente, e i cui moti si compiono seguendo le leggi di Keplero. Ecco il quadro delle loro medie distanze dal centro del pianeta riferite al suo raggio equatoriale preso per unità, e delle durate delle loro rivoluzioni sidèree valutate in giorni.

	NOMI	ORDINE di loro scoperta.	DISTANZE medie.	DURATA delle rivoluzioni.
1.° satellite. . .	Mima.	6	3, 35	0 g. 94
2.° satellite. . .	Encelado.	7	4, 30	1, 37
3.° satellite. . .	Tetide.	5	5, 28	1, 89
4.° satellite. . .	Dioneo.	4	6, 82	2, 74
5.° satellite. . .	Rea.	3	9, 52	4, 52
6.° satellite. . .	Titano.	1	22, 08	15, 94
7.° satellite. . .	Iperione.	8	27, 78	22, 50
8.° satellite. . .	Giapeto.	2	64, 36	79, 33

Questi diversi satelliti muovonsi press'a poco nel piano dell'anello; il piano dell'orbita dell'ottavo satellite se ne allontana però assai notevolmente e si avvicina di più al piano dell'eclittica. Quando l'anello si mostra di costa veggonsi projettarsi sopra di esso i due primi satelliti, i quali rassomigliano a grani di corona muoventisi lungo un filo.

La figura 347 rappresenta le orbite degli otto satelliti di Saturno: essa venne fatta nella scala medesima di quella che rappresenta le orbite dei satelliti di Giove (fig. 342, pag. 557). Vi è pure rappresentato in proporzioni esatte il corpo del pianeta e l'anello che lo circonda. In questa scala la distanza di Saturno dal sole sarebbe rappresentata da una lunghezza di 30^{m},6.

I satelliti di Saturno vennero scoperti da diversi astronomi, vale a dire il sesto da Huyghens; il terzo, il quarto, il quinto e l'ottavo da Domenico Cassini; il primo ed il secondo da Herschel; ed in fine il settimo da Lassell di Liverpool il 18 settembre 1848 (*).

(*) Il settimo satellite venne scoperto quasi contemporaneamente a Lassell anche da Bond a Cambridge, negli Stati Uniti d'America. Nel quadro dei satelliti di Saturno abbiamo aggiunto anche i nomi che ad essi vennero attribuiti, e i numeri indicanti l'ordine di loro scoperta.

Saturno si mostra all'occhio nudo come una stella brillante: il suo splendore è però molto inferiore a quello di Giove, e presenta una tinta pallida e come plumbea.

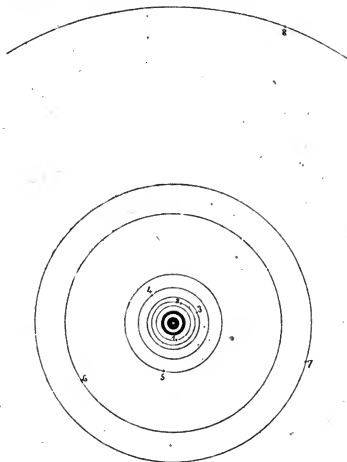



Fig. 347.

271. Urano è visibile ad occhio nudo ed apparisce come una stella di quinta grandezza: osservato con un cannocchiale, si mostra sotto forma d'un disco circolare. Il suo diametro apparente è di circa 4″; alla distanza della terra dal sole, divente-

rebbe di 75″: il raggio del pianeta è dunque uguale a 4,34, essendo 1 quello della terra (*).

Herschel riconobbe che il disco d'Urano è alquanto schiacciato; il suo minor diametro è press'a poco diretto nel piano dell'eclittica. Questo fatto sembrerebbe indicare che il pianeta ruota sopra sè stesso e che il suo equatore è press'a poco diretto perpendicolarmente al piano della sua orbita (**).

Herschel scoprì intorno ad Urano sei satelliti: il quadro seguente fa conoscere le durate delle loro rivoluzioni, come pure le medie distanze riferite al raggio del pianeta preso per unità.

	DISTANZE medie.	DURATA delle rivoluzioni.
1.° satellite.	13, 12	5 g. 89
2.° satellite.	17, 02	8, 71
3.° satellite.	19, 85	10, 96
4.° satellite.	22, 75	13, 46
5.° satellite.	45, 51	38, 07
6.° satellite.	91, 01	107, 69

Di questi sei satelliti il secondo ed il quarto sono i soli che furono veduti ancora dopo di Herschel (***); le loro orbite sono inclinate di 79° sul piano dell'eclittica, e i loro moti su queste orbite oblique sono dirette da oriente verso occidente, vale a dire con moto contrario a quello dei pianeti intorno al sole.

(*) La superficie d'Urano è quindi 18,83, essendo presa per unità quella della terra, e il suo volume è 81,75, essendo pure preso per unità quello della terra.

(**) Secondo le più recenti misurazioni di Maedler, lo schiacciamento sarebbe circa di $\frac{1}{10}$.

(***) Il secondo e il quarto satellite furono riveduti da Giovanni Herschel tanto in Europa che al Capo di Buona Speranza, poscia da Lamont, a Monaco, e da Lassell, a Liverpool. Lassell ed Ottone Struve rividero anche il primo satellite, come pure Lamont potè rivedere anche il sesto; il terzo non venne in modo soddisfacente riveduto di nuovo dopo Herschel padre, e soltanto il quinto non venne sinora più veduto. I satelliti di Urano vennero scoperti da Herschel nel seguente ordine: il secondo e il quarto nel 1787, il primo e il quinto nel 1790, il sesto e il terzo nel 1794.

La figura 348 rappresenta le orbite dei sei satelliti d'Urano nella scala che ha già servito a costruire le figure 342 e 347

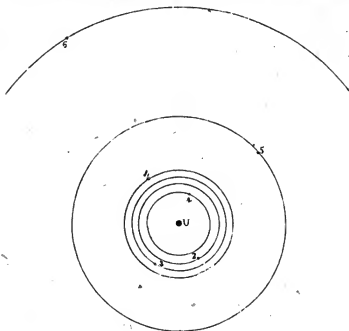



Fig. 348.

risguardanti i satelliti di Giove e di Saturno. La distanza di Urano dal sole in questa scala sarebbe rappresentata da una lunghezza di 61^{m},5.

272. Nettuno non è visibile ad occhio nudo. Questo pianeta, veduto con un cannocchiale di debole ingrandimento, rassomiglia ad una stella di ottava grandezza; con un più forte ingrandimento, lo si vede assumere sensibili dimensioni, e si mostra sotto forma di un disco circolare. Il suo diametro apparente non è che di 2″,7. Alla distanza del sole dalla terra, questo diametro apparente sarebbe di 81″; per modo che il raggio di Nettuno è uguale a 4,72, essendo 1 il raggio della terra (*).

Il pianeta Nettuno è accompagnato da un satellite che circola intorno ad esso in un'orbita inclinata di circa 35 gradi all'e-

(*) La superficie di Nettuno è perciò 22,27, essendo 1 quella della terra; e il suo volume è 105,15, essendo pure 1 quello della terra.

clittica. La durata della sua rivoluzione è di giorni 5,87; la sua media distanza dal centro di Nettuno è circa 13 volte il raggio del pianeta. La figura 349 può servire a confrontare l'orbita di questo satellite colle orbite dei satelliti di Giove, Saturno ed Urano rappresentate colle figure 342, 347 e 348: la scala è la stessa per tutte queste diverse figure. In questa scala la distanza di Nettuno dal sole avrebbe una grandezza di più che 96 metri.

N

Fig. 349.

Il satellite di Nettuno venne scoperto da Lassell (*).

273. I numerosi pianeti scoperti nella regione compresa tra Marte e Giove sono assai più piccoli di quelli di cui abbiamo parlato finora. Essi appariscono generalmente come stelle di nona o decima grandezza.

Herschel ha trovato 0",35 pel diametro apparente di Cerere nel caso in cui il pianeta fosse collocato a una distanza uguale a quella del sole dalla terra; ed ha pure trovato che il diametro apparente di Pallade nella stessa circostanza non sarebbe che di 0",24. Da ciò risulta pel diametro di Cerere una lunghezza di 259 chilometri, e per quella di Pallade una lunghezza di 178 chilometri, che è press'a poco la distanza da Parigi all'Havre (**).

Herschel credette riconoscere intorno a Pallade l'esistenza d'una nebulosità o d'una specie di nebbia che accennerebbe la presenza d'una considerevole atmosfera intorno a questo pianeta.

Tali sono press'a poco le sole notizie che si posseggono sopra questi astri, le cui dimensioni sono tanto piccole che i più potenti strumenti bastano appena per far loro assumere un'apparenza diversa da quella di semplici punti luminosi.

274. Noi non sapremmo troppo insistere sul confronto delle dimensioni e delle mutue distanze dei diversi astri che abbiamo studiati fin qui, giacchè difficil cosa è il formarsene un'esatta idea. Le distanze dei pianeti tra essi e il sole sono tanto grandi rispetto ai loro diametri che non si può rappresentare il sistema planetario con un disegno col quale cogliere d'uno sguardo i rapporti di grandezza delle sue diverse parti. Le macchine più o meno complicate che si costruiscono per dare un'idea dei moti

(*) Lassell scoprì questo satellite nel 1847: il 14 agosto 1850 scoprì un secondo satellite di Nettuno, ma questa scoperta non venne sinora confermata da altro osservatore.

(**) Ovvero da Milano a Vicenza.

simultanei della terra, dei pianeti e dei loro satelliti non possono essere eseguite che alla condizione d'esagerare considerevolmente le proporzioni di certe parti: è lo stesso dei disegni destinati a spiegare le diverse particolarità dei moti degli astri, come le figure 239 (pag. 339), 275 (pag. 412), e molte altre che potremmo citare tra quelle che ci hanno servito finora. Dobbiamo dunque guardarci sempre delle false idee che ne potrebbero derivare; ed è per questo che ripetutamente abbiamo cercato, sia col mezzo di figure, sia coll'indicazione delle relative grandezze, di chiamare l'attenzione sui veri rapporti delle dimensioni del sistema planetario. Così, giunti appena a conoscere la grandezza del diametro del sole, abbiamo messo sotto allo sguardo due circoli aventi raggi proporzionali a quelli del sole e della terra (fig. 220, pag. 319); ed abbiamo detto che per figurare nello stesso tempo la distanza che separa questi due corpi converrebbe che i centri dei cerchi si trovassero l'uno dall'altro lontani di $16^m,5$. Più tardi abbiamo fatto altrettanto per dare un'idea delle grandezze relative della terra e della luna (fig. 281, pag. 426); ma abbiamo dovuto perciò adottare una scala maggiore, nella quale il raggio del sole sarebbe rappresentato da una lunghezza di $1^m,204$, e la distanza di quest'astro dalla terra da una lunghezza di 258 metri. Quando abbiamo parlato dei sistemi di Copernico e di Tycho-Brahé abbiamo avuto cura di conservare i veri rapporti di grandezza tra i raggi dei circoli che rappresentano le orbite dei diversi corpi del nostro sistema planetario (fig. 336, pag. 537 e fig. 337, pag. 539), ad eccezione però dell'orbita della luna intorno alla terra, che sarebbe stata impercettibile se non l'avessimo ingrandita oltre misura. Infine nei paragrafi che precedono abbiamo rappresentato le orbite dei satelliti di Giove (fig. 342), di Saturno (fig. 347), d'Urano (fig. 348) e di Nettuno (fig. 349) nella stessa scala per tutte le figure, conservando per quanto è possibile ai pianeti medesimi le dimensioni ch'essi debbono avere in questa scala; ed abbiamo in oltre fatto conoscere le lunghezze delle linee colle quali dovrebbero essere rappresentate le distanze di questi diversi pianeti dal sole.

Per potersi formare un'idea netta delle grandezze relative dei principali pianeti daremo qui ancora (fig. 350) una figura sulla quale questi pianeti sono rappresentati a lato uno dell'altro per mezzo di circoli aventi i raggi proporzionali ai loro proprii raggi. Nella stessa scala il sole dovrebbe esser figurato da un cerchio di $0^m,150$ di raggio; l'orbita della luna da un circolo di $0^m,080$

di raggio; l'orbita del quarto satellite di Giove da un circolo di $0^m,405$ di raggio; quella dell'ottavo satellite di Saturno da

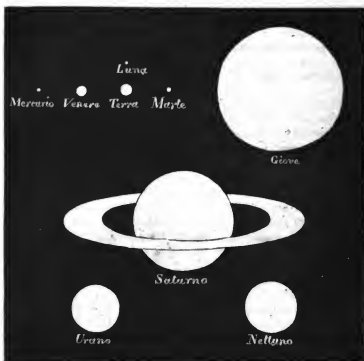



Fig. 350.

un circolo di $0^m,774$ di raggio; quella del sesto satellite d'Urano da un circolo di $0^m,527$ di raggio, e quella del satellite di Nettuno da un circolo di $0^m,082$ di raggio. In oltre le distanze dei pianeti dal sole sarebbero rappresentate dalle lunghezze di $12^m,4$ per Mercurio, $23^m,1$ per Venere, $32^m,0$ per la Terra, $48^m,8$ per Marte, $166^m,6$ per Giove, $305^m,2$ per Saturno, $613^m,8$ per Urano, e $961^m,3$ per Nettuno (*).

(*) A maggior compimento di quanto risguarda le dimensioni del sistema solare e dei corpi che lo compongono, porgiamo qui riunite le misure dei raggi del sole, di tutti i pianeti e di tutti i satelliti, come pure delle distanze dei pianeti dal sole e dei satelliti dai corrispondenti pianeti, espresse tutte in leghe da quattro chilometri ognuna: pei pianeti compresi

275. Considerazioni sul sistema planetario. — Prima che venisse adottato il sistema di Copernico, quando si considerava

tra Marte e Giove, comunemente detti *asteroidi*, abbiamo dato soltanto la loro distanza media dal sole.

SOLE E PIANETI	RAGGIO	DISTANZA dal sole.
Sole.	178000 leghe	. . . . leghe
Mercurio.	620	14900000
Venere.	1570	27500000
Terra.	1592	38200000
Marte.	825	58000000
Asteroidi.	. . . .	106500000
Giove.	17870	198500000
Saturno.	14360	364200000
Urano.	6900	732200000
Nettuno.	7500	1146800000

SATELLITI	RAGGIO	DISTANZA dal pianeta	SATELLITI	RAGGIO	DISTANZA dal pianeta.
Luna.	434 l.e	94900 l.e	di Giove. 1.°	490 l.e	108100 l.e
			di Giove. 2.°	440	171900
di Saturno. 1.°	. . . .	48100	di Giove. 3.°	720	274300
di Saturno. 2.°	. . . .	61800	di Giove. 4.°	615	482400
di Saturno. 3.°	. . . .	75900			
di Saturno. 4.°	. . . .	98000			
di Saturno. 5.°	. . . .	136700	di Urano. 1.°	. . . . .	90600
di Saturno. 6.°	. . . .	316500	di Urano. 2.°	. . . .	117600
di Saturno. 7.°	. . . .	399000	di Urano. 3.°	. . . .	137200
di Saturno. 8.°	. . . .	924200	di Urano. 4.°	. . . .	157200
			di Urano. 5.°	. . . .	314400
di Nettuno.	. . . .	98000	di Urano. 6.°	. . . .	628700

ANELLO DI SATURNO

Raggio esterno dell'anello esterno	leghe	32000
» interno » »		29000
» esterno » interno		27500
» interno » »		21000
Intervallo tra il pianeta e l'anello interno		7000
Intervallo degli anelli.		650
Grossezza dell'anello al più		40

la terra come una massa immobile nello spazio, facevansi muovere il sole, la luna e i pianeti intorno ad essa. I moti del sole e della luna erano abbastanza semplici; giacchè ognuno di questi astri muovevasi d'un moto che poco differiva dall'uniforme sopra una circonferenza di cerchio avente per centro il centro della terra. I moti dei pianeti al contrario erano complicati; e per dar ragione delle loro stazioni e retrogradazioni era mestieri far loro percorrere degli epicicli mobili sopra deferenti, e ciò secondo certe leggi dipendenti dal moto del sole. Copernico riconobbe dapprima, come abbiamo detto, che le apparenze sarebbero pur esattamente rappresentate considerando i pianeti come descriventi intorno al sole delle orbite press'a poco circolari, le quali verrebbero trasportate seco da quest'astro nell'annuo suo moto intorno alla terra. Quantunque con ciò i moti dei pianeti conservassero individualmente press'a poco il medesimo grado di complicazione di prima, venivano per altro a formare un più semplice sistema; e non fu che ammettendo in appresso l'immobilità del sole e il moto della terra intorno ad esso che Copernico riuscì ad una considerevole semplificazione nei moti dei pianeti: per tal modo ognun d'essi non era più animato che d'un moto press'a poco circolare e uniforme intorno al centro del sole, moto analogo a quello ch'esso pur doveva attribuire alla terra onde spiegare le apparenze.

Se non fosse esistita la luna, sarebbe stato impossibile di non rimanere meravigliati del carattere di estrema semplicità introdotto dalle idee di Copernico nel sistema planetario: in luogo d'ammettere che i pianeti si muovessero intorno al sole, e quest'astro seco trasportasse le loro orbite nel suo moto intorno alla terra, bastava considerare i pianeti e la terra come muoventisi tutti seguendo una medesima legge semplicissima intorno al sole supposto immobile. L'esistenza della luna veniva ad alterare questa semplicità dovuta alle nuove idee: vedesi infatti che, rendendo immobile il sole, e facendo muovere intorno ad esso la terra, riducevansi i moti dei pianeti a non essere che moti sensibilmente circolari e uniformi sopra orbite fisse; ma complicavasi nello stesso tempo il moto della luna, la cui orbita intorno alla terra doveva essere da questa trasportata nel suo moto intorno al sole. Così la semplificazione introdotta nel moto dei pianeti traeva seco una corrispondente complicazione nel moto della luna; e ciò poteva costituire una seria obbiezione al sistema di Copernico, alla quale era quasi impossibile rispondere se non mostrando la poca importanza della luna

rapporto all'insieme dei pianeti, donde risultava una grande probabilità in favore del sistema che toglieva la complicazione nel moto dei pianeti per introdurla nel moto della luna.

La scoperta dei satelliti di Giove, fatta da Galileo, e quella dei satelliti degli altri pianeti più lontani di Giove dal sole, distrusse affatto l'obbiezione di cui abbiamo parlato. Videsi con ciò che Copernico, ammettendo che l'orbita della luna intorno alla terra fosse con questa trasportata nel suo moto intorno al sole, altro non fece che ridurre la luna alla parte di satellite della terra; per cui il moto di questo piccolo globo vicino alla terra non è più che un caso particolare dei moti analoghi che si osservano nei corpi che accompagnano i più grandi pianeti del nostro sistema.

Per compiere le indicazioni che abbiamo già date sulle grandezze relative delle orbite dei satelliti dei diversi pianeti, porgiamo qui (fig. 351) un disegno dell'orbita della luna intorno alla terra eseguito nella stessa scala di quelle che si riferiscono ai satelliti di Giove, Saturno, Urano e Nettuno (fig. 342, 347, 348 e 349). Si può notare che l'orbita del satellite di Nettuno è press'a poco uguale all'orbita della luna.

Fig. 351.

276. L'osservazione delle particolarità che presentano le superficie di Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno fece riconoscere che questi pianeti ruotano sopra sè stessi; lo schiacciamento d'Urano è pur forte argomento a pensare che anche questo pianeta sia animato d'un moto di rotazione. Spiegando il moto diurno degli astri mediante una rotazione della terra intorno ad uno de' suoi diametri, Copernico non fece che attribuire a questo globo una nuova rassomiglianza cogli altri pianeti. Nulla di quanto il sistema di Copernico ammette relativamente alla terra tende a farne un corpo che non entri pienamente nella categoria dei pianeti. Trasportandoci col pensiero sulla superficie di Venere o su quella di Marte, scorgiamo che gli astri debbono apparirci animati di moti affatto analoghi a quelli che noi osserviamo dalla terra: non ci sarebbe, è vero, nell'uno o nell'altro caso, un astro corrispondente alla nostra luna; ma se ci trovassimo sulla superficie di Giove, oltre che i moti dei diversi astri presenterebbero ancora le stesse apparenze che sulla terra, vedremmo quattro lune circolare come la nostra intorno al globo che in quest'ipotesi abiteremmo.

Confrontando le durate delle rotazioni dei diversi pianeti, compresa la terra, vedesi che essi, sotto questo punto di vista, si

dividono in due gruppi distinti. Pei quattro pianeti più vicini al sole le durate delle rotazioni sono press'a poco uguali, cioè: **24**^{ore} **4'** per Mercurio, **23**^{ore} **21'** per Venere, **23**^{ore} **56'** per la terra (durata del giorno sidereo), e **24**^{ore} **37'** per Marte. Al di là di Marte le rotazioni poterono essere verificate e misurate soltanto per Giove e Saturno: le durate di queste rotazioni, che non differiscono molto l'una dall'altra, sono notabilmente più brevi delle precedenti, essendo esse di **9**^{ore} **55'** per Giove e di **10**^{ore} **29'** per Saturno.

277. Gettando uno sguardo sull'insieme del sistema planetario, v'incontriamo un gran numero di circostanze che danno a questo sistema un carattere tutto particolare, e che lo distinguono affatto da un semplice ammasso di astri in moto, che il caso avrebbe raccolti nella medesima regione dello spazio. Tutti i pianeti muovonsi intorno al sole, mantenendosi press'a poco nello stesso piano passante per quest'astro centrale; eccettuati soltanto alcuni dei piccoli pianeti le cui orbite fanno angoli alquanto più grandi col piano dell'eclittica: tutti questi moti dei pianeti intorno al sole si compiono nella stessa direzione d'occidente verso oriente: i pianeti principali sono accompagnati da satelliti che, ad eccezione di quelli d'Urano, muovonsi in piani assai poco inclinati al piano dell'eclittica e nella direzione del moto dei pianeti intorno al sole, vale a dire d'occidente verso oriente: il sole ruota sopra sè stesso nella stessa direzione intorno ad un asse che è quasi perpendicolare al piano dell'eclittica; finalmente i pianeti, i cui moti di rotazione si poterono verificare, ruotano tutti del pari d'occidente verso oriente; e lo stesso ha luogo della rotazione della luna intorno al suo centro. Per questo concorso di circostanze non possiamo considerare il sistema planetario come una riunione d'astri puramente accidentale; ma siamo costretti a considerare il sole, i pianeti e i loro satelliti come aventi un'origine comune, e fino a un certo punto possiamo metterci sulla via a rintracciare il modo di formazione del sistema quale esiste attualmente. Vedremo più tardi quali sono le plausibilissime idee che a questo proposito vennero emesse da Laplace.

278. Il sistema planetario, del quale abbiamo ora studiata la costituzione, trovasi circondato di stelle situate da tutte le parti. Ma queste stelle ne sono lontanissime, per modo ch'esso forma un gruppo isolato in mezzo a un immenso spazio, in cui non veggiamo alcun astro. Abbiamo precedentemente date alcune indicazioni riguardo alla distanza che ci separa dalle stelle (**176**),

ed abbiamo detto che la distanza della 61ª del Cigno dal sole è più che 595 mila volte la media distanza del sole dalla terra, mentre è noto che essa è una delle stelle che sono meno lontane da noi. Potremo formarci un'idea dell'isolamento del sistema planetario nel mezzo dello spazio osservando che nella scala che ha servito a costruire la figura 336 (pag. 537), se si volesse collocarvi la 61ª del Cigno, la si dovrebbe mettere alla distanza di 5 950 metri dal punto S che rappresenta il sole, vale a dire a circa una lega e mezza.

È assai probabile che noi non conosciamo tutti i pianeti che circolano intorno al sole: senza dubbio se ne scopriranno ancora parecchi nella regione compresa tra Marte e Giove, ove già tanti ne vennero scoperti in questi ultimi anni. In oltre è possibilissimo che esistano alcuni pianeti più vicini al sole di Mercurio e più lontani di Nettuno: gli uni e gli altri sarebbe difficilissimo l'osservarli dalla terra; i primi perchè, a cagione della prossimità del sole, la vivacità della luce di quest'astro impedirebbe di discernerli; gli altri perchè, a cagione della loro lontananza, la luce che ricevono dal sole non sarebbe sufficiente a farceli distinguere nel cielo. Ma in ogni caso, quando anche si estendessero i limiti del sistema planetario mediante la scoperta di alcuni nuovi pianeti situati al di là di Nettuno, non si potrebbe cessare dal considerar questo sistema come avente piccolissime dimensioni rispetto alla distanza che lo separa dalle stelle più vicine.

279. Scoperta della velocità della luce. — Per mezzo dell'osservazione degli eclissi dei satelliti di Giove Roëmer scoprì la velocità di propagazione della luce (verso il 1675). Domenico Cassini, appoggiandosi ad un grandissimo numero d'osservazioni, avea costruito delle tavole del moto di questi satelliti, mediante le quali potevasi predire il ritorno dei loro eclissi. Roëmer notò che le epoche alle quali osservavasi realmente sia il principio sia la fine degli eclissi, non sempre s'accordavano colle indicazioni somministrate dalle tavole di Cassini: talora il fenomeno accadeva alquanto prima, talora al contrario alquanto più tardi rispetto all'epoca alla quale avrebbe dovuto accadere stando alla predizione che ne era stata fatta: in oltre il fenomeno anticipava tutte le volte che Giove trovavasi vicino alla sua opposizione, e ritardava quando trovavasi poco lontano dalla sua congiunzione. Ecco in che modo Roëmer spiegò queste divergenze tra le osservazioni e le tavole costruite dietro un gran numero di anteriori osservazioni. Se la luce che c'invia

un astro fosse animata d'una velocità infinitamente grande, ci arriverebbe immediatamente dopo essere partita, e noi vedremmo i diversi fenomeni luminosi che avvengono alla superficie dell'astro all'istante medesimo della loro produzione. Ma se al contrario la velocità di propagazione della luce non è infinita, essa impiega un certo tempo a percorrere la distanza che ne separa dall'astro, e quando la riceviamo è già da qualche tempo che è partita dall'astro: non vediamo quindi i fenomeni luminosi che vi accadono se non dopo che sono realmente avvenuti. Il ritardo che ne risulta nell'osservazione di questi fenomeni dipende per altra parte dalla distanza che separa l'astro dalla terra, ed è tanto maggiore quanto più l'astro è lontano. Comprendesi da ciò che questo ritardo non avrebbe alcuna influenza sugl'intervalli di tempo compresi tra i fenomeni successivi osservati su di un astro la cui distanza dalla terra rimanesse la stessa; l'osservazione di ognuno di questi fenomeni sarebbe sempre in ritardo della stessa quantità sull'epoca reale della sua produzione; il tempo trascorso tra due fenomeni consecutivi sarebbe dunque lo stesso che quello che trascorrerebbe tra le epoche nelle quali si osserverebbero dalla terra; e la successione di questi fenomeni osservati dalla terra seguirebbe esattamente le medesime leggi che se ognuno d'essi fosse osservato all'istante medesimo in cui succede. Ma se la distanza della terra dall'astro che si considera varia da un'epoca all'altra, non sarà più lo stesso; il ritardo dell'osservazione d'un fenomeno sull'epoca reale della sua produzione sarà maggiore o minore secondo che la luce avrà a percorrere un maggiore o minore cammino per giungere dall'astro alla terra; e ne risulterà una differenza corrispondente tra gl'intervalli di tempo che separano alcuni fenomeni successivi e quelli che separano le epoche nelle quali questi fenomeni saranno stati osservati.

Se, per esempio, un certo fenomeno si riproducesse regolarmente ad ogni ora sopra un astro la cui distanza dalla terra talora andasse aumentando durante un certo numero d'ore e talora diminuendo, ecco quanto accadrebbe: finchè l'astro si allontanasse dalla terra il tempo compreso tra due osservazioni successive del fenomeno di cui si tratta sarebbe maggiore di un'ora; quando al contrario l'astro si ravvicinasse alla terra trascorrerebbe meno di un'ora tra due consecutive osservazioni. Supponiamo, per fissare le idee, che l'astro sia alla sua minor distanza dalla terra nell'istante medesimo in cui il fenomeno in quistione avviene una prima volta; che a partire da questo

punto esso s'allontani dalla terra durante 5 ore; quindi se ne avvicini di nuovo durante 5 ore, in guisa da ritornare alla distanza alla quale trovavasi da principio. È facile il vedere che i 5 intervalli di tempo compresi tra la 1.ª, la 2.ª, ... e la 6.ª apparizione del fenomeno per un osservatore posto sulla terra saranno tutti maggiori di un'ora; e che l'eccesso dell'insieme di queste 5 durate sopra 5 ore sarà precisamente uguale al tempo che impiega la luce a percorrere lo spazio di cui si è accresciuta la distanza dell'astro dalla terra durante questo tempo totale. Parimenti i 5 intervalli di tempo compresi tra la 6.ª, la 7.ª,... e l'11.ª apparizione del fenomeno saranno tutti minori di un'ora, e l'eccesso di 5 ore sul loro insieme sarà ancora uguale al tempo impiegato dalla luce a percorrere la differenza tra la più grande e la più piccola distanza dell'astro dalla terra. Se ne concluderà facilmente che l'eccesso del tempo compreso tra la 1.ª e la 6.ª osservazione del fenomeno sul tempo compreso tra la 6.ª e l'11.ª osservazione è precisamente il doppio di quello che la luce impiega a percorrere la quantità di cui la maggior distanza dell'astro dalla terra sorpassa la minor distanza tra questi due corpi.

Muovendosi Giove e la terra nello stesso tempo intorno al sole, la distanza di questi due pianeti varia periodicamente. All'epoca delle opposizioni di Giove, essendo la terra in T e Giove in G (fig. 352), la distanza G T che li separa è la differenza tra le distanze GS, TS d'ognuno di essi dal sole S; quando alla fine di qualche tempo Giove è passato da G in G′ e la terra

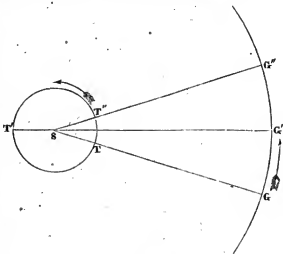



Fig. 352.

da T in T′, Giove trovasi in congiunzione, e la sua distanza G′T′ dalla terra è la somma delle distanze dei due pianeti

dal sole; più tardi, quando Giove è passato da G′ in G″ e la terra da T′ in T″, Giove trovasi in opposizione, e la sua distanza dalla terra ritorna uguale a quella che era all'istante della precedente opposizione. Vedesi dunque che la distanza di Giove dalla terra varia periodicamente tra due limiti, che sono la differenza e la somma delle rispettive distanze di questi due corpi dal sole: questa distanza variabile raggiunge il suo minimo valore alle epoche delle opposizioni di Giove, e il suo massimo valore alle epoche delle congiunzioni di questo pianeta. Ne risulta che quanto abbiamo detto d'un astro la cui distanza dalla terra aumenta e diminuisce alternatamente, è direttamente applicabile a Giove; e se la luce non ha una velocità infinita, la legge della successione dei fenomeni luminosi che avvengono su questo pianeta o in sua vicinanza dev'essere per noi alterata, in conseguenza dell'ineguaglianza dei ritardi che prova la loro osservazione, a cagione del cambiamento di distanza di Giove dalla terra.

Ora le divergenze notate da Roëmer tra le epoche in cui egli osservava gli eclissi dei satelliti di Giove e le epoche nelle quali questi eclissi dovevano accadere, secondo le tavole di Cassini, erano tutte nel verso indicato dalle precedenti considerazioni, ben inteso ch'esso non doveva considerare le tavole di Cassini come se facessero conoscere i precisi istanti ai quali ogni eclisse cominciava o finiva realmente. Se la luce non ci arriva istantaneamente da Giove, le tavole di Cassini dovevano essere affette del ritardo che prova l'osservazione degli eclissi a cagione del cammino che deve percorrere la luce per giungere da Giove alla terra; ma siccome le tavole erano state costruite per mezzo d'un gran numero di osservazioni fatte anteriormente ad epoche in cui Giove trovavasi ora vicino alla sua congiunzione, ora vicino alla sua opposizione, l'ineguaglianza dei ritardi corrispondenti alle diverse osservazioni aveva dovuto scomparire nella combinazione dei risultati ottenuti, e non doveva in ultimo rimanere nelle tavole che un ritardo medio: le indicazioni che esse somministravano sarebbero state pienamente d'accordo colle ulteriori osservazioni se in ogni epoca il ritardo risultante dalla successiva trasmissione della luce avesse avuto lo stesso valore che quando Giove trovasi alla sua media distanza dalla terra. Quando Giove è in opposizione, la luce impiega minor tempo a percorrere la distanza che separa questo pianeta dalla terra che se questa distanza fosse uguale al suo valore medio G S; gli eclissi osservati a quest'epoca devono dunque essere veduti

dalla terra alquanto prima che non dovrebbero esserlo secondo le tavole di Cassini: quando, al contrario, Giove è in congiunzione, la distanza di questo pianeta dalla terra raggiunge il suo massimo valore; l'osservazione del principio e della fine degli eclissi che avvengono in questo caso deve dunque farsi realmente alquanto più tardi che non si dovrebbe secondo le tavole. Roëmer riconobbe infatti, come abbiamo già detto, che le epoche nelle quali osservavansi gli eclissi dei satelliti di Giove anticipavano o ritardavano alquanto su quelle assegnate a questi fenomeni e dedotte dalle tavole di Cassini, secondo che la distanza di Giove dalla terra era minore o maggiore del valore medio di questa distanza; e in oltre egli trovò che l'anticipazione o il ritardo dell'epoca dell'osservazione reale d'un eclisse sull'epoca della sua predizione era tanto maggiore quanto più la distanza di Giove dalla terra differiva dalla media distanza di questi due corpi. Allora Roëmer non esitò a considerare queste anticipazioni e questi ritardi come unicamente dovuti a ciò che la luce non si propaga istantaneamente da Giove alla terra; e facilmente ne desunse il valore che doveva avere la velocità della luce, per dar ragione delle particolarità che ora abbiamo notate nell'osservazione degli eclissi dei satelliti di Giove.

Quando Giove è in opposizione non si possono osservare gli eclissi de' suoi satelliti, poichè il cono ombroso del pianeta trovasi da esso totalmente nascosto; parimenti quando Giove è in congiunzione la prossimità del sole toglie che si possano fare osservazioni di questo genere: è d'uopo che il pianeta trovisi a una certa distanza dalla sua congiunzione e dalla sua opposizione perchè gli eclissi de' suoi satelliti possano essere convenientemente osservati. Ma confrontando e discutendo i risultati forniti dalle osservazioni fatte quando Giove trovasi in diverse posizioni intermedie tra la congiunzione e l'opposizione, si potè supplire alle osservazioni relative alle epoche medesime delle congiunzioni e delle opposizioni, e si giunse così al seguente risultato. Supponiamo che si osservi un eclisse di un satellite all'istante di un'opposizione di Giove, poi un altro eclisse di questo satellite all'istante della seguente congiunzione, poi infine un ultimo eclisse del medesimo satellite quando Giove sia ritornato in opposizione, semprechè il satellite abbia fatto lo stesso numero di giri intorno al suo pianeta tra la 2.ª e la 3.ª osservazione come tra la 1.ª e la 2.ª. A cagione della regolarità del moto del satellite, l'intervallo di tempo compreso tra le

due prime osservazioni dovrebbe essere lo stesso di quello che è compreso tra le due ultime, se l'influenza della successiva trasmissione della luce non si facesse sentire; trovasi al contrario che il primo di questi intervalli di tempo è maggiore del secondo di 33′ 12″. Ben comprese le spiegazioni date poco innanzi rispetto alle apparenti irregolarità che la successiva trasmissione della luce deve recare nell'osservazione dei fenomeni quando la distanza che ci separa dal luogo in cui avvengono varia periodicamente, se ne concluderà subito che l'eccesso di 33′ 12″ indicato è precisamente il doppio del tempo che la luce impiega a percorrere il diametro dell'orbita della terra, essendo questo diametro evidentemente la differenza tra la maggiore e la minor distanza di Giove dalla terra. La luce percorre dunque il diametro dell'orbita terrestre in 16′ 36″, e per conseguenza essa impiega 8′ 18″ a pervenirci dal sole. Riferendoci al valore assegnato alla media distanza del sole dalla terra, si vedrà che, impiegando la luce a percorrerla 8′ 18″, è mestieri ch'essa abbia una velocità di circa 77 000 leghe (da 4 chilometri) per secondo.

Abbiamo veduto che la scoperta della velocità della luce fatta da Roëmer condusse Bradley alla spiegazione del fenomeno dell'aberrazione (169); anzi le idee di Roëmer sulla successiva trasmissione della luce non furono ammesse dagli astronomi se non dopo essere state confermate dai lavori di Bradley. Recentemente il signor Fizeaux, misurando il tempo che impiegava un raggio di luce ad andare da Suresnes a Montmartre (vicino a Parigi) poi a ritornare da Montmartre a Suresnes, ha trovato per la velocità della luce lo stesso valore assegnatole dalle osservazioni astronomiche.

280. Determinazione della parallasse del sole per mezzo dei passaggi di Venere. — Quando ci siamo occupati della distanza compresa tra il sole e la terra (148) abbiamo detto che non si era potuto ottenere la parallasse del sole con qualche precisione che per mezzo delle osservazioni fatte durante i passaggi di Venere sul sole. Siamo ora in grado di far comprendere il principio del metodo che venne seguito a tal uopo.

Le leggi del moto dei pianeti intorno al sole, quali furono date da Keplero, vennero stabilite senza che fosse necessario conoscere la distanza del sole dalla terra: soltanto i rapporti che esistono fra le distanze dei pianeti dal sole e la distanza del sole dalla terra dovevano esser presi in considerazione nello stabilire queste leggi; e tali rapporti sono compiutamente deter-

minati dalle circostanze che presenta il moto dei pianeti sulla sfera celeste, come già abbiamo veduto (259). Si può dire che si conosceva la figura dell'insieme del sistema planetario senza conoscerne le assolute dimensioni; ed attribuendosi arbitrariamente quella grandezza che si fosse voluto ad una delle dimensioni del sistema, vale a dire alla distanza di uno qualunque dei pianeti dal sole, si sarebbe potuto conchiuderne la grandezza di tutte le altre dimensioni. Sarebbe lo stesso caso che se si conoscessero tutti gli angoli d'una rete di triangoli senza conoscere nessuno dei lati che ne fanno parte; che se alla conoscenza degli angoli si arrivasse ad aggiungere quella della lunghezza di uno dei lati, tutte le dimensioni della rete sarebbero con ciò intieramente determinate (104). La ricerca della parallasse del sole, che doveva far conoscere la distanza del sole dalla terra, altro non era dunque che la misurazione d'una base destinata a complètare le nozioni già acquistate sulle dimensioni del sistema planetario.

Il pianeta Venere, nel suo passaggio davanti al sole, si projetta sul disco di quest' astro come un piccolo circolo nero; e dalle posizioni che la terra e Venere occupano ciascuno sulla propria orbita in questo istante possiamo conoscere esattamente il rapporto tra le distanze di questi due pianeti dal sole. Supponiamo che questo rapporto sia uguale a 0,73 (esso non differisce mai molto da 0,72, che è il rapporto tra i semi-assi maggiori delle due orbite); ammettiamo per semplicità che due osservatori si trovino collocati precisamente alle due estremità A, B (fig. 353)

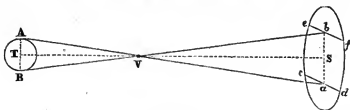



Fig. 353.

del diametro della terra diretto perpendicolarmente al piano dell'eclittica; riduciamo col pensiero il pianeta Venere a un solo punto V, che sarà il suo centro di figura; e sostituiamo alla superficie arrotondata della parte anteriore del sole un semplice disco piano colla sua faccia rivolta verso la terra. I due osservatori non vedranno Venere projettarsi sullo stesso punto del disco del sole; ma mentre il primo vedrà il pianeta in *a*, il se-

condo lo vedrà in b. Ora i due triangoli A B V, a b V sono simili: il rapporto di a b ad A B è dunque quello stesso di a V ad A V, ed anche per conseguenza quel medesimo di V S a V T: ma V S è 0,73 di T S, quindi V T è 0,27 di T S; per modo che il rapporto di V S a V T è uguale a $\frac{73}{27}$, ovvero a 2,7: il rapporto di a b ad A B è dunque anch'esso uguale a 2,7. Se dalla terra si giunge a misurare l'angolo sotto cui si vede la distanza a b, basterà dividere quest'angolo per 2,7 per avere la grandezza apparente della linea A B veduta alla distanza del sole dalla terra, vale a dire il preciso diametro apparente della terra veduta dal sole: la metà del risultato così ottenuto sarà la parallasse orizzontale del sole. Vediamo dunque come si possa giungere a misurare l'angolo sotteso dalla distanza a b.

L'osservatore collocato in A vede Venere percorrere una corda c d del disco del sole; l'osservatore collocato in B vede del pari il pianeta percorrere un'altra corda e f di questo disco: queste due corde possono essere considerate come dirette parallelamente al piano dell'eclittica, e per conseguenza la retta a b, che è perpendicolare a questo piano, misura la distanza che le separa: trovata dunque l'esatta posizione occupata da ognuna di queste due corde sul disco del sole, se ne concluderà facilmente la distanza tra esse compresa. Ora si conosce la velocità relativa di Venere per rapporto al sole all'istante dell'osservazione per mezzo delle tavole che rappresentano i moti apparenti dei due astri; e d'altra parte da ognuno dei due punti A, B si può misurare il tempo che il pianeta impiega ad attraversare il disco del sole; se ne possono perciò dedurre immediatamente le grandezze delle corde da esso descritte sul disco per ognuno dei due osservatori: confrontando quindi le grandezze apparenti così ottenute per queste due corde col diametro apparente del sole corrispondente all'istante dell'osservazione, si troverà la posizione di ognuna di esse rispetto al centro del disco, e in conseguenza la distanza che le separa. Si potrà, per esempio, formare un cerchio il cui diametro abbia un certo rapporto col diametro apparente del sole, secondo una scala scelta ad arbitrio; si inscriveranno in questo cerchio due corde parallele, le cui lunghezze corrispondano, nella medesima scala, ai valori trovati dai due osservatori per le corde c d, e f: misurando allora la distanza delle due corde parallele così ottenute in questo circolo, e riferendosi alla scala adottata per questa costruzione, si troverà il numero di secondi di cui si compone la grandezza apparente della distanza delle due corde c d, e f vedute dalla terra. Si comprende che

alla costruzione grafica che ora abbiamo indicata si può sostituire un metodo di calcolo, il quale condurrà a più precisi risultati.

Le due corde *c d*, *e f* sono ben lontane dall'avere tra esse una distanza tanto grande per rapporto al diametro del sole, quale è indicata dalla figura 353. Noi sappiamo che la parallasse del sole fu trovata di 8",6; il diametro apparente della terra veduta dal sole è dunque di 17",2; e per conseguenza la grandezza apparente della distanza delle corde *c d*, *e f* veduta dalla terra non può esser maggiore di $\frac{2}{7}$ d'un minuto, ovvero di circa $\frac{1}{14}$ del diametro del sole. Comprendesi quindi che la posizione di queste due corde, le quali generalmente sono ambedue dalla stessa parte rispetto al centro del disco del sole, ma che trovansi ora vicine ora lontane da questo centro, deve avere una grande influenza sull'esattezza dei risultati dedotti dall'osservazione. Quando una corda inscritta in un circolo trovasi vicinissima al centro di questo circolo, essa forma quasi angoli retti colle parti della circonferenza alle quali termina; e ne risulta che il menomo cambiamento nella lunghezza della corda aumenta o diminuisce notabilmente la distanza che la separa dal centro del cerchio: quando al contrario la corda trovasi dal centro ad una distanza che sia all'incirca uguale al raggio, essa fa angoli acutissimi colle parti della circonferenza cui termina, e un piccolo cambiamento nella sua lunghezza non fa variare la sua distanza dal centro del cerchio che d'una quantità insignificante. Vedesi pertanto che se all'istante dell'osservazione d'un passaggio di Venere il pianeta attraversa il disco del sole passando vicino al suo centro, gli errori che si commettono nella valutazione delle lunghezze delle corde *c d*, *e f*, e che è impossibile di evitare compiutamente, possono alterare la distanza di queste due corde di quantità notevolissima; mentre, se Venere attraversa il disco del sole mantenendosi sempre ad una distanza bastantemente grande dal suo centro, gli stessi errori non avranno che una debolissima influenza sulla distanza delle due corde, le quali sembreranno descritte dal pianeta, secondo che questo sarà veduto dal punto A ovvero dal punto B. I passaggi di Venere dunque sul disco del sole non si prestano tutti con egual esattezza alle osservazioni per giungere alla determinazione della parallasse del sole: il valore di questa parallasse sarà ottenuto con tanto maggior esattezza quanto meno Venere, nell'attraversare il disco del sole, si sarà avvicinata al suo centro.

Per semplicità nella data spiegazione abbiamo supposto che i due osservatori si trovassero collocati alle due estremità del

diametro della terra diretto perpendicolarmente al piano dell'eclittica; ma comprendesi che ciò non è indispensabile. Se i due luoghi d'osservazione fossero scelti per modo che la corda del globo terrestre, di cui sono essi le estremità, fosse perpendicolare al piano dell'eclittica, i risultati delle osservazioni fatte in questi due luoghi condurrebbero con pari facilità alla determinazione della parallasse del sole: in luogo di dedurre dalle osservazioni la grandezza apparente del diametro della terra veduto dal sole, se ne dedurrebbe la grandezza apparente della corda di cui si tratta, veduta egualmente dal sole; e conosciuto il rapporto che esiste tra il raggio della terra e la lunghezza di questa corda, si potrebbe immediatamente trovare la grandezza apparente del raggio della terra veduto dal sole, vale a dire ciò che noi chiamiamo la parallasse di quest'astro. Possiamo altresì aggiungere non essere necessario che i due luoghi d'osservazione siano alle estremità d'una corda del globo terrestre diretta perpendicolarmente al piano dell'eclittica; ma questi luoghi possono essere scelti in modo affatto arbitrario sulla superficie della terra, e dal confronto delle durate trovate pel passaggio di Venere sul disco del sole si potrà ancora determinare la parallasse di quest'ultimo astro. La sola condizione alla quale deve soddisfare la scelta di questi luoghi d'osservazione è che la loro posizione sia tale che le corde, secondo cui si vedrà Venere attraversare il disco del sole, non siano troppo vicine fra loro. Si può d'altronde fare l'osservazione del passaggio del pianeta da più di due luoghi; e colla combinazione dei diversi risultati si potrà ottenere la parallasse del sole con maggiore esattezza.

Abbiamo anche supposto che il pianeta Venere fosse ridotto a un solo punto, e sappiamo che ciò non ha luogo, mentre ne' suoi passaggi sul disco del sole esso si mostra sotto forma d'un circolo nero il cui diametro apparente è di circa un minuto. Ma è facile il vedere che i ragionamenti fatti nell'ipotesi che il pianeta fosse ridotto a un solo punto possono a tutto rigore applicarsi al suo centro, sotto condizione di diminuire il raggio apparente del disco del sole d'una quantità uguale al raggio apparente di Venere: si ottiene per tal modo pel sole un disco ideale minore del disco reale e concentrico ad esso; e il centro di Venere trovasi sul contorno di questo disco ideale all'istante medesimo in cui il contorno del pianeta è tangente internamente alla circonferenza del disco reale del sole. L'osservazione degl'istanti precisi ne'quali comincia e finisce il passaggio del centro di Ve-

nere sul disco ideale di cui si tratta può dunque ottenersi con grande precisione; e per conseguenza si potrà dedurne la parallasse del sole di conformità a quanto abbiamo detto precedentemente.

L'idea di far servire l'osservazione dei passaggi di Venere alla determinazione della parallasse del sole è di Halley. Dall'epoca in cui questi chiamò l'attenzione degli astronomi sopra un tal genere di osservazioni (nel 1677), il fenomeno del passaggio di Venere non si è presentato che due volte, nel 1761 e nel 1769. A queste due epoche parecchi astronomi si distribuirono sulla superficie della terra e si portarono nei diversi luoghi donde giudicarono essere piu opportuno osservare il passaggio di Venere per giungere a una precisa determinazione della parallasse del sole. Le osservazioni fatte nel 1761 non condussero che a risultati poco soddisfacenti; ma da quelle del 1769 al contrario si potè raggiungere una grande esattezza nella valutazione della parallasse del sole. Per formarsi un' idea del grado di precisione col quale questa parallasse venne dedotta dalle osservazioni del 1769, basti il dire che la differenza fra le durate del passaggio ottenute ad Otahiti nel mare del sud ed a Cajanebourg nella Laponia svedese si è elevata a più d'un quarto d'ora; e che questa differenza di durate, che si potè conoscere coll'approssimazione di alcuni secondi, è il principale elemento per la determinazione della distanza delle due corde *c d*, *e f* (fig. 353), donde la parallasse del sole può dedursi in appresso con mezzi suscettibili di grande esattezza. Fu per tal modo che il valore della parallasse orizzontale del sole venne fissata a 8",6 pel caso in cui quest'astro si trova alla sua media distanza dalla terra (148).

Non si potrebbe ammirare abbastanza il metodo ingegnoso di cui ci siamo provati di far comprendere il principio: trattasi alla fine di giungere alla determinazione d'un angolo di 8",6. Ma i mezzi ordinarii per la misura degli angoli non sono a ciò sufficienti; e questi mezzi, che bastano quando trattasi di trovare la parallasse della luna (201), il cui valore è di circa 1°, darebbero appena una delle più grossolane approssimazioni pel valore della parallasse del sole: il valore ch'essi somministrerebbero potrebbe anche non essere che la metà del vero valore di questa parallasse. Il metodo imaginato da Halley consiste nel sostituire alla diretta misurazione della parallasse del sole quella d'un fenomeno che totalmente dipende da questa parallasse, e la cui ampiezza sia molto più facile a misu-

rarsi; esso sostituisce la valutazione d'una durata che sorpassa un quarto d'ora alla misurazione d'un angolo di alcuni secondi. Si può confrontare questo metodo con quello che si usa per misurare la lunghezza d'una linea piccolissima, e che consiste nell'ingrandire considerabilmente questa lunghezza coll'uso d'un potente microscopio, confrontarla così ingrandita ad un regolo diviso in millimetri, e dividere poscia il numero di millimetri cui essa corrisponde pel numero che rappresenta la forza amplificativa del microscopio.

I passaggi di Mercurio sul sole potrebbero del pari venire usati alla determinazione della parallasse del sole; ma trovandosi questo pianeta più vicino al sole che Venere, ne risulta che l'osservazione de' suoi passaggi è molto meno influenzata dalla differenza di posizione degli osservatori sul globo terrestre: le corde secondo le quali diversi osservatori veggono Mercurio attraversare il disco del sole sono troppo vicine le une alle altre perchè dalla determinazione della distanza che le separa si possa trovare il valore della parallasse del sole con sufficiente esattezza. Così i passaggi di Mercurio, i quali si riproducono più frequentemente di quelli di Venere, non vengono mai usati per eseguire nuove determinazioni di questa parallasse. Si è quindi costretti ad aspettare fino al 1874 ed al 1882, epoche nelle quali si potranno osservare due nuovi passaggi di Venere, per verificare il risultato delle osservazioni del 1769; a partire da questi anni trascorrerà ancora più d'un secolo prima che un tal fenomeno si riproduca.

COMETE

281. **Aspetto delle comete.** — Le comete sono astri che, come i pianeti, muovonsi attraverso alle costellazioni, e così occupano successivamente svariatissime posizioni sulla sfera celeste. Esse però presentano comunemente un aspetto affatto diverso da quello dei pianeti; e quantunque la differenza d'aspetto non sia il carattere essenziale che distingue le comete dai pianeti, basta generalmente per indicare se un astro errante che si osserva appartenga all'una o all'altra delle due classi.

Solitamente una cometa consiste in un punto più o meno brillante, circondato d'una nebulosità, che, sotto forma di una striscia luminosa, stendesi secondo una particolare direzione. La figura 354 può darne un'idea sufficientemente esatta. Il punto brillante dicesi il *nucleo* della cometa; la striscia luminosa che

accompagna questo nucleo dicesi la *coda;* e la parte della nebulosità che circonda immediatamente il nucleo, fatta astrazione dalla coda, chiamasi la *chioma;* si dà il nome di *testa* dalla cometa all'insieme del nucleo e della chioma. Il vocabolo *cometa*, che significa *astro chiomato*, trae la sua origine dalle circostanze che abbiamo esposte e che si presentano nell'aspetto degli astri ai quali venne applicato.

Fig. 354.

Le comete non si presentano tutte sotto la forma che abbiamo indicato: se ne vedono alcune accompagnate da più code; altre hanno nucleo e chioma senza coda; e ve ne hanno talune che mancano anche totalmente di chioma, per modo da presentare l'aspetto medesimo dei pianeti, coi quali si possono confondere; per cui accadde che il pianeta Urano, scoperto da Herschel nel 1781, venne per qualche tempo preso per una cometa. Veggonsi infine delle comete formate unicamente da una nebulosità senz'alcuna apparenza di nucleo.

La coda d'una cometa stendesi talvolta fino a grande distanza dal nucleo. Nel mese di marzo del 1843 fu veduta una cometa la cui coda aveva un'estensione angolare di 40°: in altre epoche si osservarono comete le cui code avevano in apparenza almeno una lunghezza ancor maggiore di quella del 1843; e si possono citare segnatamente la cometa del 1680, la cui coda aveva una estensione di 90°, quella del 1769, la cui coda occupava un arco di 97°, e quella del 1618, la cui coda stendevasi fino a 104°. La famosa cometa del 1811, alla quale si attribuì tanta influenza sulla qualità dei vini, aveva una coda di 23° di lunghezza; nel 1744 videsi una cometa con sei code, ciascuna delle quali aveva una lunghezza di 30 o 40 gradi, e l'insieme delle sei code occupava in larghezza uno spazio di circa 44°. Ma i diversi esempi che abbiamo citati non sono che eccezioni; più spesso le comete hanno molto minori dimensioni.

Le code delle comete sembrano ordinariamente diritte; o almeno, per un effetto di prospettiva, sembrano dirette secondo archi di circoli massimi della sfera celeste. Se ne citano però alcune le quali si presentarono sotto differente apparenza: così

nel 1689 si vide una cometa la cui coda, al dire degli storici, era curva come una sciabola turca, ed aveva una totale estensione di 68°.

282. Leggi del moto delle comete. — Una cometa non può essere osservata nel cielo che per un tempo limitato. La si vede dapprima in una regione del cielo ove nulla erasi veduto nei giorni antecedenti; il domani, il posdomani la si può vedere di nuovo, ma essa ha cambiato notevolmente di posto tra le costellazioni; e la si può seguire così nel cielo per un certo numero di giorni, spesso per parecchi mesi, poi si cessa dal discernerla. Sovente si perde di vista la cometa, poich'essa si avvicina al sole e la viva luce di quest'astro la nasconde totalmente; ma bentosto la si osserva di nuovo dall'altra parte del sole, e non è che qualche tempo dopo ch'essa disparisce assolutamente (*).

Le comete, la cui súbita apparizione fu cagione di tanto spavento nei secoli d'ignoranza, vennero da prima considerate come meteore prodotte nell'atmosfera della terra. Tycho-Brahé riconobbe ch'erano veramente astri; Keplero credeva che si muovessero in linea retta nello spazio; Hevelio, pure considerando le comete come originarie dall'atmosfera, dice che dopo esserne uscite descrivono delle parabole aventi la concavità rivolta verso il sole.

Newton fu il primo a far conoscere le vere leggi del moto delle comete. Egli dice ch'esse descrivono delle ellissi molto allungate, di cui il sole occupa uno dei fochi; e che siccome non sono visibili se non quando trovansi in quella porzione delle loro orbite che sono vicine al sole, così esse sembrano muoversi secondo parabole il cui foco è nel centro di quest'astro (**).

(*) La cometa del 1843 fu veduta in alcuni luoghi di pieno giorno all'epoca della sua massima vicinanza al sole: furono vedute di pieno giorno anche le comete degli anni 1402, 1532, 1577, 1744.

(**) È singolare quanto scriveva Seneca riguardo alle comete: « Io » annovero, esso scriveva, tanto le comete quanto i pianeti più cono» sciuti fra le eterne opere della natura. Se tutti i pianeti hanno orbite » diverse fra di essi, perchè quelle delle comete non potrebbero pur essere » diverse? Siamo forse costretti a supporre che fra le innumerevoli stelle » che adornano le nostre notti, cinque soltanto ve ne siano cui venga » accordato di muoversi? Solo da circa 1500 anni la Grecia ha intra» presa la enumerazione delle stelle, e non sono molti anni che noi stessi » conosciamo la vera causa degli eclissi. Verrà tempo in cui il genio e » la diligenza dei secoli futuri renderanno chiaro ed evidente tutto ciò » che ora è oscuro; in cui i nostri successori si maraviglieranno, riflet» tendo come, cose così semplici e chiare, ci siano rimaste oscure ed in» comprensibili. Verrà un giorno in cui l'uomo scoprirà e calcolerà

Perchè si possa comprendere convenientemente quanto dobbiamo dire del moto delle comete è necessario formarsi una idea alquanto netta della curva che dicesi *parabola*. Abbiamo precedentemente (101) data la definizione dell'ellisse; riferendoci a questa definizione, potremo ora dedurre con facilità quella della parabola. Se si descrive un'ellisse avente per fochi i due punti F, F' (fig. 355), e prendendo il filo, le cui estremità sieno fisse in questi due fochi, di tal lunghezza che l'asse maggiore dell'ellisse sia A A', la curva che si ottiene molto non differi-

» le orbite delle comete, la loro grandezza e tutte le altre qualità loro.
» La natura non isvela ad un tratto il suo santuario agli sguardi dei
» mortali, onde non abbagliarli col troppo splendore prima che ne siano
» avvezzi; e se noi colle nostre poche cognizioni già ci crediamo iniziati,
» i nostri posteri vedranno che eravamo soltanto su le soglie del gran
» tempio della natura. »

Anche un prete tedesco, chiamato Dörfel, pubblicò nel 1680 un libretto intorno al moto parabolico delle comete. L'eruditissimo signor barone di Zach giunse però a dimostrare, in un articolo interessante (*Zeitschrift für Astronomie*, B. VIII, pag. 379, an. 1827), che il rinomato matematico dello studio di Pisa, Alfonso Borelli napoletano, in una lettera al padre Stefano De Angeli, lettore di matematiche nello studio di Padova, relativa al movimento della cometa apparsa nel dicembre del 1664, sotto il finto nome di Pier Maria Mutoli, ha indicato 15 o 16 anni prima di Newton la vera teoria delle comete; e mentre Dörfel ha mostrato di non avere di esse un'idea chiara, Borelli ha fatto vedere non potersi il loro movimento rappresentare nè col sistema ticonico, nè col sistema tolemaico, ma convenire bensì col sistema copernicano, ch'egli chiama costantemente *pitagorico* per sottrarsi, a quanto pare, alle vessazioni di troppo rigidi inquisitori; tanto ancora erano fisso nella mente di tutti le traversie cui Galileo era andato soggetto. Borelli espone chiaramente che il moto della terra vuol essere combinato con quello della cometa intorno al sole; egli dice che il calcolo gli ha mostrato che questa si muove intorno al sole in una parabola, e non dubita che, se si potesse osservare per un tempo più lungo, si troverebbe un'orbita ellittica. Per ultimo egli ci annunzia che la dimostrazione rigorosa di queste sue asserzioni sarà da lui data in altra occasione. In una lettera scritta da Pisa al gran duca Leopoldo, il 4 maggio 1665, ripete non potersi aver per rettilinea la via delle comete, ma doversi ritenere una curva sorprendentemente simile alla parabola; che ciò gli mostra il calcolo ed un esperimento, che ripeterà in Firenze alla presenza del gran duca. Le molte opposizioni che allora si facevano al sistema copernicano furono forse la sola cagione per cui questi preziosi lavori del Borelli vennero universalmente ignorati e soppressi; e forse per le stesse cagioni non fu mai pubblicato il lavoro matematico ch'esso doveva aver apparecchiato. (V. Santini, *Elem. di Astronomia*, vol. II, pag. 64.)

sce da una circonferenza di cerchio, e presenta nella direzione perpendicolare all'asse A A' un debole schiacciamento. Se si de-

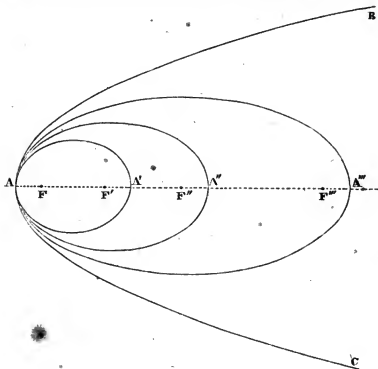



Fig. 355.

scrive una seconda ellisse avente per fochi i due punti F, F'', e determinando la lunghezza del filo per modo che il punto A sia ancora uno dei vertici di questa ellisse, si avrà una curva che avvolgerà la precedente, ma il cui schiacciamento sarà più pronunciato. Una terza ellisse, descritta coi fochi nei punti F, F''', ed avente del pari il punto A per vertice, avvolgerà ciascuna delle due precedenti, e sarà ancora più schiacciata che ognuna di esse, avuto riguardo alla grandezza del suo asse A A'''. Continuando così a descrivere delle ellissi ognor più grandi, aventi tutte uno dei fochi nel punto F e il vertice nel punto A, si vedrà che queste curve si allontanano ognor più dal loro asse comune A F F' F'', a partire dal punto A e dall' una e dall' altra parte di questo punto; ma così scostandosi,

esse tendono sempre più ad avvicinarsi ad una certa curva limite che non possono mai raggiungere: è questa curva limite B A C che dicesi parabola. Si potrà formarsene un'idea abbastanza netta descrivendo una delle ellissi di cui abbiamo parlato, e ponendo il secondo foco di quest'ellisse a una gran distanza del primo foco F sulla retta A F F′ F″: l'ellisse così ottenuta differirà pochissimo dalla parabola fino a una certa distanza da una e dall'altra parte del vertice A, distanza che sarà tanto maggiore quanto più il secondo foco dell'ellisse sarà stato preso lontano dal primo. È quindi facile il comprendere che la parabola si compone di due parti A B, A C esattamente uguali fra loro, e stendentisi indefinitamente dall'una e dall'altra parte dell'asse A F F′ F″, da cui esse s'allontanano ognor più. Il punto A dicesi il vertice della parabola e il punto F è il suo foco.

Dalla definizione che venne data della parabola si comprende facilmente che, se un astro descrive un'ellisse molto allungata, avente uno de' suoi fochi al centro del sole, e se non è visibile che quando trovasi nella parte della sua orbita che è vicina a questo foco, le diverse posizioni nelle quali lo si vedrà successivamente saranno press'a poco quelle medesime come se esso descrivesse una parabola avente il suo foco al centro del sole. Tale è l'idea che venne emessa da Newton relativamente alla natura delle orbite delle comete: egli non faceva così che estendere al moto delle comete la prima delle leggi che Keplero aveva trovate pei pianeti (261); ma considerò egualmente anche le altre due leggi come applicabili ad esse. Tutte le ulteriori osservazioni confermarono pienamente le sue idee.

Quando apparisce nel cielo una nuova cometa gli astronomi approfittano di tutti gl'istanti nei quali essa può essere facilmente osservata per fissarne la posizione sulla sfera celeste: essi determinano l'ascensione retta e la declinazione del suo nucleo quante volte più possono, paragonandola ad una stella vicina per mezzo dell'equatoriale (89). Fatto così un numero sufficiente d'osservazioni (e per ciò ne occorrono almeno tre, le quali corrispondano ad istanti non troppo vicini fra loro), essi ne deducono i valori degli elementi del moto parabolico della cometa. Questi elementi sono: 1.° l'inclinazione del piano dell'orbita della cometa sull'eclittica; 2.° la longitudine del suo nodo ascendente, vale a dire l'angolo che l'intersezione di questo piano col piano dell'eclittica fa con una parallela alla linea degli equinozii condotta pel centro del sole; 3.° la longitudine del perielio, vale a dire l'angolo che il piano condotto perpen-

dicolarmente al piano dell'eclittica e passante per l'asse dell'orbita parabolica della cometa fa colla medesima parallela alla linea degli equinozii; 4.° la distanza perielia, vale a dire la distanza del vertice della parabola dal centro del sole, valutata prendendo per unità la distanza media del sole dalla terra; 5.° finalmente l'epoca precisa del passaggio della cometa pel suo perielio. I calcoli che somministrano questi diversi risultati fanno in oltre conoscere la direzione del moto della cometa intorno al sole, moto il quale talvolta è diretto, talvolta retrogrado.

Gli elementi del moto parabolico d'una cometa, rettificati per modo da soddisfare, per quanto è possibile, alle diverse osservazioni che vennero fatte per tutta la durata della sua apparizione, vengono iscritti in una raccolta chiamata *Catalogo delle comete*. Questo catalogo contiene attualmente gli elementi di circa seicento comete: ogni anno il numero ne è aumentato di tre o quattro per termine medio; il solo anno 1846 ne fornì otto. Fra queste comete osservate dagli astronomi, e delle quali sono registrati gli elementi, ve n'ha un numero assai piccolo che sono visibili ad occhio nudo; le altre non possono essere vedute che coll'ajuto dei cannocchiali e dei telescopii di cui sono muniti gli osservatorii. Mercè il progresso delle scienze lo spavento che ispirava per tutto il mondo l'apparizione delle comete visibili disparve compiutamente, e questi astri più ora non ispirano che un sentimento di curiosità.

283. **Comete periodiche.** — Se una cometa descrive in realtà un'ellisse, un foco della quale è nel centro del sole, devesi periodicamente rivederla ogni volta che nelle sue successive rivoluzioni essa viene a passare in vicinanza a questo foco. V'ha un certo numero di comete che vennero così osservate più volte ad epoche differenti; ed a queste si dà il nome di *comete periodiche*.

L'aspetto particolare che presenta una cometa non può servire a far conoscere se questa cometa è una di quelle osservate anteriormente. Quest'aspetto è talmente variabile che spesso, nell'intervallo di alcuni giorni, una cometa è affatto diversa da ciò ch'era dapprima. È dunque del tutto impossibile fondare la menoma induzione sulla rassomiglianza o dissomiglianza che presentano due comete, osservate a due epoche distinte.

Soltanto dalla forma e dalla posizione dell'orbita che una cometa descrive si può vedere se essa sia identica con una di quelle che furono già osservate. Perciò si confrontano gli elementi del suo moto parabolico con quelli contenuti nel *Catalogo delle comete:* se in questo catalogo trovasi una cometa

i cui elementi sieno press'a poco quei medesimi della cometa che ne occupa, si ha un fondamento a considerare come probabile che queste due comete non formino che un solo e medesimo astro osservato a due epoche differenti. L'intervallo di tempo compreso tra i passaggi di quest'astro al suo perielio a queste due epoche porge un'idea della durata della sua rivoluzione sull'ellisse allungata che descrive intorno al sole; essa è uguale a questo intervallo di tempo, ovvero ne è la metà, il terzo, il quarto, ... secondo che la cometa avrà fatto una sola rivoluzione, ovvero avrà fatto due, tre, quattro, ... rivoluzioni intorno al sole tra le due epoche di cui si tratta. Prendendo per guida questo primo dato, si cerca nel catalogo se non vi sia qualch'altra cometa che possa ugualmente essere considerata come identica con ognuna delle due prime; e trovandosene una o più che soddisfacciano a questa condizione, si può fissare in modo quasi certo la durata della rivoluzione dell'unica cometa che si suppone essere stata così osservata a più epoche differenti. Si è allora in grado di predire il tempo alla fine del quale la cometa apparirà di nuovo in vicinanza del sole; e avverandosi questa predizione, se ne conchiude che la cometa è veramente periodica com'erasi supposto. Noi possiamo avere un bell'esempio di questo genere di ricerche nella cometa di Halley, la prima di cui venne riconosciuta la periodicità.

L'andamento indicato per giungere a riconoscere se una nuova cometa che si osserva può esser classificata tra le comete periodiche non è il solo che si possa seguire e che siasi realmente seguito. Ve ne ha un altro che non può essere applicato a tutte le comete, ma che non suppone la cognizione di anteriori osservazioni, i cui risultati sieno consegnati nel *Catalogo delle comete;* ed ecco in che consiste. Se la cometa può essere osservata mentre percorre una porzione considerevole della sua orbita ellittica, il suo moto deve presentare sensibili differenze con ciò che avrebbe luogo se essa percorresse realmente un'orbita parabolica. In questo caso, determinati gli elementi del suo moto supposto parabolico, servendosi delle prime osservazioni che si poterono fare, trovasi che questi elementi non convengono alle osservazioni che si fecero più tardi; e volendo modificarli per modo da soddisfare alle ultime osservazioni, le prime più non sarebbero convenientemente rappresentate per mezzo di questa nuova orbita parabolica che si otterrebbe. L'impossibilità di soddisfare insieme a tutte le osservazioni per mezzo di un moto parabolico della cometa indica che la sua

orbita differisce notabilmente da una parabola nella parte che venne osservata successivamente. In tal caso si ricominciano i calcoli per determinare gli elementi del suo moto, ammettendo che la sua orbita sia un'ellisse; e si giunge a determinare per quest'orbita una forma ed una posizione tale che tutte le osservazioni che si poterono fare sieno convenientemente rappresentate. Dal valore che si ottiene così per l'asse maggiore dell'orbita ellittica della cometa, espresso per mezzo della distanza della terra dal sole presa per unità, si può trovare immediatamente la durata della rivoluzione della cometa per mezzo della terza legge di Keplero; e si è quindi in grado d'indicare in prevenzione l'epoca alla quale la cometa deve ritornare al suo perielio, dopo aver fatto un'intiera rivoluzione intorno al sole. Se la cometa ritorna infatti in vicinanza del sole all'epoca per questa maniera fissata, si potrà in modo certo classificarla tra le comete periodiche.

Fino al presente non v' hanno che quattro comete la cui periodicità sia stata bene stabilita, le quali faremo successivamente conoscere secondo l'ordine della loro scoperta.

Avendo Halley calcolato gli elementi del moto parabolico d'una cometa osservata nel 1682 da Lahire, Picard, Hevelio e Flamsteed, trovò i seguenti risultati:

Inclinazione.	Longitudine del nodo.	Longitudine del perielio.	Distanza perielia.	Direzione del moto.
17° 42′	50° 48′	301° 36′	0, 58	retrogrado.

Applicando gli stessi calcoli ad una cometa osservata nel 1607 da Keplero e Longomontano, trovò:

Inclinazione.	Longitudine del nodo.	Longitudine del perielio.	Distanza perielia.	Direzione del moto.
17° 2′	50° 21′	302° 16′	0, 58	retrogrado.

La quasi perfetta identità tra gli elementi di queste due comete fece pensare ad Halley che lo stesso astro fosse stato osservato nel 1682 e nel 1607, e che la durata della sua rivoluzione intorno al sole fosse di circa 75 anni. Ricorrendo alle osservazioni anteriori all'anno 1607, egli trovò che una cometa era stata osservata da Appiano nel 1531, vale a dire 76 anni prima del 1607; e calcolando gli elementi di questa cometa, giunse ai numeri seguenti:

Inclinazione.	Longitudine del nodo.	Longitudine del perielio.	Distanza perielia.	Direzione del moto.
17° 56′	49° 25′	301° 39′	0, 57	retrogrado.

Questi nuovi elementi, paragonati con quelli che riferivansi alle comete del 1607 e del 1682, non lasciarono più dubbio alcuno nella mente di Halley; egli tenne per certo che le comete del 1531, del 1607 e del 1682 non erano che una sola e medesima cometa, la quale muovevasi intorno al sole in un'orbita ellittica allungatissima, e che impiegava da 75 a 76 anni a compiere tutto il giro di quest'orbita: potè quindi predire che questa cometa riapparirebbe verso l'anno 1758. Ma nel suo moto lungo l'immensa sua orbita la cometa doveva venire alquanto deviata dal suo cammino per le azioni attrattive dei principali pianeti (e vedremo bentosto in che consistano queste azioni), e poteva risultare da ciò un cangiamento importante nell'epoca in cui la cometa ritornerebbe a passare di nuovo al suo perielio. Clairaut intraprese a calcolare l'influenza che poteva avere quest'azione dei pianeti, affine di giungere a precisare ognor più l'epoca del prossimo ritorno della cometa al suo perielio; e con ciò ebbe ritrovato che questo ritorno sarebbe ritardato di 518 giorni per l'azione di Giove, e di 100 giorni per l'azione di Saturno, e che per conseguenza avrebbe luogo verso la metà d'aprile del 1759; e nello stesso tempo preveniva che l'errore commesso nella valutazione di questa data, per ciò che i calcoli non erano stati fatti che approssimatamente, poteva elevarsi a 30 giorni in più o in meno. Nel 1759 infatti fu riveduta la cometa annunciata da Halley, la quale passò al suo perielio il 12 marzo (*); i suoi elementi parabolici, dedotti dalle osservazioni fatte a quell'epoca, sono i seguenti:

Inclinazione.	Longitudine del nodo.	Longitudine del perielio.	Distanza periella.	Direzione del moto.
17° 38′	53° 48′	303° 10′	0, 58	retrogrado.

La cometa d'Halley venne osservata di nuovo nel 1835: il suo ritorno al perielio era stato annunciato pel 13 novembre, ed ebbe luogo il 16. La cometa di Halley è dunque veramente

(*) Dopo aver rifatto i calcoli, Clairaut aveva portato il passaggio al perielio della cometa al 4 aprile, e l'avrebbe portato al 24 marzo, cioè alla distanza di soli dodici giorni dall'istante del perielio, quale risultò poi dall'osservazione, se più esattamente avesse conosciuta la massa di Saturno, e l'avesse ritenuta di $\frac{1}{3512}$, essendo presa per unità quella del sole; e maggiore esattezza avrebbe ancora raggiunto se avesse potuto calcolare l'influenza di Urano e di Nettuno, l'esistenza de' quali era ancora ignota ai tempi di Clairaut.

una cometa periodica, il cui moto è perfettamente conosciuto, e il cui ritorno può essere predetto con grande esattezza (*). Paragonando la durata della sua rivoluzione con quella della terra intorno al sole, si trova, per mezzo della terza legge di Keplero, che l'asse maggiore della sua orbita ellittica è uguale a 35, 9: la differenza tra quest' asse maggiore e la distanza perielia della cometa è dunque uguale a 35, 3, che è il valore della massima distanza che possa esistere tra la cometa ed il sole. La figura 356 rappresenta l'orbita di questa cometa; da cui si vede che essa stendesi appena al di là dell' orbita di Nettuno. La linea $n n'$ è l' intersezione del piano di quest'orbita col piano dell'eclittica; la parte $n a n'$ è situata da un lato di quest'ultimo piano, e la parte $n b n'$ trovasi dall'altro lato; l'inclinazione dei due piani è di circa $17° \frac{1}{2}$, come risulta da quanto precede.

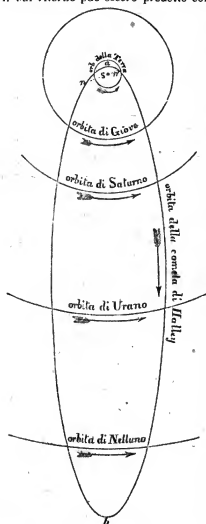



Fig. 356.

Essendo stata scoperta da Pons a Marsiglia, il 26 novembre 1818, una cometa, si notò bentosto che i suoi elementi parabolici molto rassomigliavano a quelli di una cometa os-

(*) Attualmente si conoscono sette apparizioni bene accertate della cometa di Halley, giacchè avendo Laugier calcolate le orbite di alcune comete contenute nella nuova tavola tolta da Edoardo Biot dagli Annali

servata nel 1805; se ne conchiuse che era la cometa del 1805 che tornavasi a rivedere, e che nell'intervallo essa aveva compiuto una o più rivoluzioni intorno al sole. Infatti Encke, di Berlino, non tardò a stabilire che questa cometa non impiegava che 1200 giorni circa, ossia anni 3,3 a compiere un intiero giro intorno al sole: essa aveva quindi percorso quattro volte la sua orbita ellittica dal 1805 al 1818. Questa cometa, che venne già osservata molte volte da che fu riconosciuta la sua periodicità da Encke, e che si designa ordinariamente sotto il nome di *cometa a breve periodo*, venne a sconvolgere l'idea che gli astronomi s'erano fatta sulla lunghezza dell'asse maggiore delle orbite ellittiche delle comete. La sua distanza dal sole, quand'essa è alla maggior lontananza da quest'astro centrale, sorpassa appena quattro volte la distanza della terra dal sole, e per conseguenza rimane sempre compresa nell'interno dell'orbita di Giove: quand'essa è al suo perielio, la sua distanza dal sole è press'a poco uguale al terzo della distanza della terra dal sole (*).

Chinesi, potè stabilire l'identità della cometa del 1378 con quella di Halley. Dal 1378 al 1835 il tempo della rivoluzione di questa cometa ha variato da 74,91 a 77,58, il periodo medio essendo stato di anni 76,1.

La cometa di Halley è attualmente molto diversa da quella che apparve nei secoli scorsi Nel 1456 la sua lunga coda diffuse il terrore nell'Europa, già costernata dai rapidi successi dei Turchi, che abbatterono l'Impero d'Oriente; e papa Calisto ordinò pubbliche preghiere colle quali scongiurare la cometa e i Turchi.

(*) Prima che venisse determinata la periodicità della cometa di Encke, essa era già stata veduta tre volte, cioè da Méchain nel novembre 1786, da Miss Carolina Herschel nel novembre 1795, e da Bouvard, Pons ed Huth nell'ottobre 1805. Il suo primo ritorno, calcolato in anticipazione da Encke, venne osservato da Rümker a Paramatta, nella Nuova Olanda, non essendo allora la cometa visibile nell'emisfero boreale: le successive apparizioni vennero tutte predette ed osservate nei principali osservatorii dei due emisferi. Essendo la longitudine dell'afelio della cometa di 337°, essa non è visibile agli abitatori dell'Europa che nelle comparse nelle quali il passaggio al perielio cade fra l'ottobre ed il febbrajo. Talvolta questa cometa venne veduta anche ad occhio nudo, come accadde nel 1819 e nel 1822 a Rumker.

Confrontando i successivi passaggi di questa cometa al perielio, dopo aver tenuto esatto conto di tutte le perturbazioni prodotte dai pianeti, s'incontra il singolar fatto, stabilito primieramente da Encke, che gli intervalli fra essi compresi vanno successivamente diminuendo; e lo stesso Encke ne diede la spiegazione, supponendo che lo spazio non sia assolutamente vuoto, ma ripieno d'un fluido sottilissimo, il quale colla sua resistenza sia la cagione del successivo accorciarsi della durata della

Il 27 febbrajo 1826 il signor Biela distinse, a Johannisberg, una nuova cometa, che il signor Gambart osservò da parte sua dieci giorni più tardi a Marsiglia. Quest'ultimo astronomo, dopo aver determinato gli elementi parabolici della cometa, riconobbe ch'essi erano assai prossimamente quei medesimi delle due comete osservate l'una nel 1805, l'altra nel 1772; ne conchiuse che vi era identità fra i tre astri, e che la cometa nuovamente scoperta era periodica. Bentosto i signori Clausen e Gambart trovarono quasi nello stesso tempo che questa cometa percorre la sua orbita ellittica nell'intervallo di circa 6 anni $\frac{3}{4}$, e potè quindi esserne predetto il ritorno. La cometa ritornò infatti all'epoca indicata; e dappoi venne osservata a più riprese distinte alle epoche de' suoi diversi passaggi in vicinanza del sole. La minima distanza di questa cometa dal sole è uguale a 0,86, e la sua massima distanza da quest'astro è uguale a 6,20, essendo presa per unità la distanza del sole della terra: la sua orbita dunque stendesi alquanto al di là dell'orbita di Giove (*).

rivoluzione di questa cometa. Parrebbe a prima giunta che, a motivo della resistenza del mezzo in cui muovesi la cometa, la durata della sua rivoluzione dovesse aumentare; ma riflettendo che la resistenza del mezzo cresce al crescere della velocità della cometa, per cui il suo effetto viene ad essere massimo quando la cometa trovasi vicina al perielio, minimo quando è vicina all'afelio, si scorge che il moto della cometa tenderà con ciò a rendersi uniforme, e l'ellisse della sua orbita si avvicinerà quindi ognor più al circolo, secondo il quale dovrebbe aver luogo il moto uniforme. Pertanto l'asse maggiore dell'ellisse andrà continuamente diminuendo; e siccome, per la terza legge di Keplero, il tempo dell'intiera rivoluzione dipende dalla grandezza dell'asse maggiore, diminuendo questo, dovrà quindi diminuire anche la durata della sua rivoluzione, vale a dire ad ogni rivoluzione la cometa anticiperà il suo passaggio al perielio.

Da ciò, secondo alcuni, deriva essere probabile che la cometa venga collo scorrere dei secoli a cadere nel sole, a meno che prima non si dissipi intieramente, ciò che pure da alcuni non si riterrebbe affatto inverosimile, attesa l'estrema tenuità della sostanza ond' è composta e il progressivo decremento che si osserva nel suo splendore ad ogni sua riapparizione.

Nei 1835 essendo passata vicinissima a Mercurio, soffrì questa cometa perturbazioni nel suo moto per l'attrazione di questo pianeta, e dall'esame di queste perturbazioni potè Encke determinare meglio la massa di Mercurio, che fu da esso ridotta a circa la metà di quella che era stata congetturata da Laplace. Ritenuta pertanto per unità la massa del sole, quella di Mercurio sarebbe di $\frac{1}{4865751}$ (298).

(*) Il primo ad osservare la cometa ora detta di Biela o di Gambart, nel 1772, fu Montaigne, il giorno 8 di marzo, e nel 1805 fu Pons, il 1.° novem-

La quarta cometa periodica venne osservata per la prima volta dal signor Faye, a Parigi, il 22 novembre 1843. Poco tempo dopo il dottor Goldschmidt, allievo del signor Gauss, appoggiandosi

bre: dopo che ne fu predetto il ritorno, il primo ad osservarla fu Henderson, al Capo di Buona Speranza, nell'ottobre del 1832. La sua apparizione nel 1852 fu pertanto la tredicesima cominciando da quella del 1772.

Questa cometa, sino da quando apparve nel 1826, s'avvicinò tanto alla terra che la sua minima distanza fu di soli raggi terrestri 133 $\frac{1}{3}$, ossia poco più del doppio della massima distanza della luna dalla terra; e venne sin d'allora notato essere questa distanza soggetta a variare moltissimo ad ogni ritorno della cometa, a cagione delle forti perturbazioni prodotte nel suo moto dai grandi pianeti cui passa in vicinanza, specialmente di Giove; potendo per altro questa distanza tanto crescere che diminuire; per modo che, venendo essa a diminuire, potrebbe persino accadere che le due atmosfere della terra e della cometa si mescolassero, ed anche si potesse vedere la cometa ecclissarsi nell'ombra della terra.

Avendo Damoiseau calcolato preventivamente gli elementi di questa cometa pel 1832, tenendo conto delle perturbazioni esercitatevi dai principali pianeti, trovò ch'essa nel suo nodo discendente sarebbe passata per l'órbita della terra, come appunto avvenne il 29 ottobre 1832. L'annuncio dell' intersezione delle due orbite ebbe a destare in molti spavento, immaginandosi che dovesse succedere l' incontro della cometa colla terra, sebbene questa si trovasse a tal distanza dalla cometa da occorrere un intiero mese perchè avesse a passare pel punto dell'orbita pel quale la cometa già era passata.

La probabilità dell'urto d'una cometa colla terra era già stata antecedentemente sottomessa a calcolo da distinti geometri; e in ultimo Laplace aveva dimostrato che, quantunque possibile un tal urto, non v'è ragione a temerne, essendone enormemente piccola la probabilità nel periodo di un secolo, sebbene una tal piccolissima probabilità possa diventar molto grande solamente in una lunga serie di secoli. La cometa di Biela mostra assolutamente la possibilità di tale incontro colla terra, e fu trovato che in 2500 anni, per termine medio, ne possa accadere uno; nondimeno in ogni singola comparsa la probabilità dell'urto rimane ancora piccolissima. Assai difficile poi sarebbe l'assegnare gli effetti di un tale urto. Certo è che anche piccolissime masse dotate di enorme velocità potrebbero produrre effetti molto considerevoli; e li annovera Laplace, supponendo che venissero per l'urto di una cometa a cambiare l'asse e il moto di rotazione della terra, per modo da derivarne un vero diluvio universale. Ma tanta è la piccolezza della massa di una cometa, e la sostanza che la costituisce è tanto attenuata che da altri si opina non poterne emergere alcuna seria conseguenza. La massa della cometa di Biela è tanto piccola da non arrecare perturbazione alcuna sull'orbita della terra ne' grandissimi suoi avvicinamenti a questa.

Anche le orbite delle due comete di Biela e di Encke s'intersecano, e come amendue sono soggette a fortissime perturbazioni da parte dei

ad osservazioni fatte a Parigi e ad Altona, riconobbe che la cometa descrive un'ellisse la cui eccentricità è molto debole relativamente a quelle delle comete periodiche già conosciute. Quantunque non siasi trovato nel *Catalogo delle comete* alcun astro i cui elementi abbiano qualche rassomiglianza con quelli di questa nuova cometa, egli punto non dubitò di predire il suo ritorno pel principio del 1851, appoggiandosi unicamente alla cognizione degli elementi del moto ellittico che eransi ottenuti. La predizione s'avverò con grande precisione, e la cometa ritornò a passare al suo perielio all'ora medesima assegnata dal calcolo a questo passaggio. La durata della rivoluzione di questa cometa è di circa 7 anni e mezzo: la sua minima distanza dal sole è uguale a 1,7, e la sua massima distanza dallo stesso astro è uguale a 5,9, essendo presa per unità la media distanza del sole dalla terra (*).

In questi ultimi tempi si trovarono molte altre comete per le quali presentaronsi le stesse circostanze che per quella di cui ora abbiamo parlato, e si poterono determinare le dimensioni delle loro orbite ellittiche per mezzo delle osservazioni fatte durante il tempo della loro apparizione in vicinanza del sole. Ma queste comete non dovranno essere classificate definitivamente tra le comete periodiche che quando le si avranno vedute ritornare almeno una volta al loro perielio dopo che avranno compiuta una intiera rivoluzione intorno al sole (**).

grandi pianeti, così potrebbe accadere che s'incontrassero; e se questo avesse luogo verso la metà di ottobre, gli abitanti della terra avrebbero a godere del maraviglioso spettacolo dell' incontro di due corpi celesti, o piuttosto d'una vicendevole penetrazione, o fors' anche della riunione di due corpi in uno, ovvero della loro totale dissipazione nello spazio.

(*) L'orbita di questa cometa pertanto s'avvicina alla forma circolare più di quella di qualunque altra cometa conosciuta: nell'afelio essa oltrepassa l'orbita di Giove, e nel perielio quella di Marte. La forma attuale di quest'orbita è forse dovuta all'azione perturbatrice di Giove, cui questa cometa s'avvicinò moltissimo verso la fine dell' anno 1839.

(**) Alle comete di cui qui si parla appartengono specialmente quelle di *Vico*, di *Brorsen* e di *D'Arrest*.

La cometa di Vico fu scoperta a Roma il 22 agosto 1844. Gli elementi dell'orbita di questa cometa vennero accuratamente calcolati da Brünnow di Berlino, tenendo conto delle perturbazioni prodotte su di essa dai pianeti. Il suo periodo è di circa anni 5 e mezzo; il ritorno era predetto pel 1850, ma da nessuno venne osservata. I signori Laugier e Mauvais la credevano probabilmente identica con quelle del 1583, 1743 e colla quarta del 1819, il che fu negato da Leverrier, il quale vi trovò in-

La figura 357, costruita nella stessa scala di quella che rappresenta il sistema di Copernico (fig. 356 a pag. 537), può dare

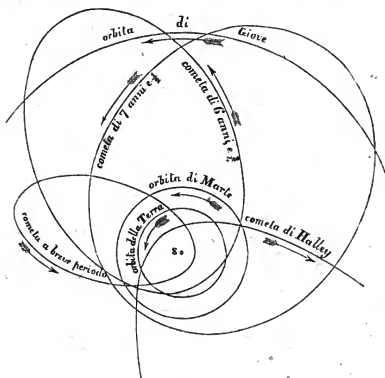



Fig. 357.

un'idea delle grandezze e delle posizioni relative delle orbite delle quattro comete periodiche: l'orbita della cometa d'Halley

vece molta rassomiglianza con quella del 1678, ritenendo che la sua orbita nei secoli antecedenti ebbe a subire grandi variazioni, passando essa nel suo afelio molto vicina all'orbita di Giove.

La cometa di Brorsen fu scoperta il 26 febbrajo 1846, e non potè essere osservata che per un tempo troppo breve, perchè gli elementi dell'orbita venissero determinati con molta precisione: la rivoluzione per altro risultò essere di anni 5 e mezzo, e nel calcolo degli elementi dell'orbita tanto Brünnow quanto Galle tennero conto delle perturbazioni dei pianeti. Anche di questa cometa non venne osservato il ritorno nel 185'. La sua orbita ha il nodo ascendente vicino all'orbita di Venere, il

non potè esservi tracciata nella sua totalità a cagione delle sue grandi dimensioni. Vedesi che le orbite di queste comete s'in-

nodo discendente vicino all'orbita di Giove, e potrebbe quindi nel corso dei secoli soffrire forti perturbazioni da parte di questi due pianeti.

La cometa di D'Arrest fu scoperta il 27 giugno 1851, e venne osservata fin verso la metà di ottobre. Gli elementi dell'orbita calcolati dallo stesso D'Arrest danno un periodo di anni 6 e mezzo. Yvon de Villarçeau, dopo averne anch'egli calcolati gli elementi ellittici, presentò con Valz alcune ipotesi sull'identità di questa cometa con quella del 1678 osservata da La Hire e calcolata da Douwes.

Come venne fatto pei pianeti (265), perchè meglio si possa avere una conveniente idea di ciò che risguarda le comete periodiche, daremo qui per esse i principali elementi delle orbite, nei quali alla distanza media aggiungeremo anche la distanza perielia e la distanza afelia, tanto importanti per le comete, e inoltre la direzione del moto e i nomi dei calcolatori. Le comete sono ordinate secondo le durate delle loro rivoluzioni.

NOMI delle comete	DISTANZE			DURATA delle rivoluzioni		ECCEN-TRICITA'	INCLINA-ZIONE	DIRE-ZIONE del moto	NOMI dei calcolatori
	medie	perielie	afelie	in giorni	in anni				
Encke	2, 214 81	0, 337 03	4, 092 60	1204	3, 30	0, 847 83	13° 8′ 36″	diretto	Encke
Vico	3, 102 80	1, 186 40	5, 019 20	1996	5, 47	0, 617 64	2 54 50	diretto	Brünnow
Brorsen	3, 146 49	0, 650 10	5, 642 88	2039	5, 58	0, 793 39	30 55 53	diretto	Brünnow
D'Arrest	3, 461 85	1, 173 98	5, 749 72	2353	6, 44	0, 660 88	13 56 12	diretto	D'Arrest
Biela	3, 524 52	0, 856 45	6, 192 60	2417	6, 62	0, 757 00	12 34 53	diretto	Plantamour
Faye	3, 811 79	1, 692 58	5, 931 00	2718	7, 44	0, 555 96	11 22 31	diretto	Leverrier
Halley	17, 987 91	0, 586 61	35, 389 21	27865	76, 29	0, 967 39	17 45 17	retrogrado	Rosenberger

Queste comete sono chiamate *planetarie*, perchè le durate delle loro rivoluzioni sono comprese entro i limiti delle durate delle rivoluzioni dei pianeti: le prime sei distinguonsi poi dalla cometa di Halley col nome di *comete a breve periodo* o *comete interiori* per la brevissima durata della loro rivoluzione, e per essere le loro orbite comprese dalle orbite dei pianeti.

trecciano tra esse e colle orbite dei pianeti, per modo che sembra esistere nello spazio un certo numero di punti in cui s'in-

Oltre le quattro comete i cui periodi sono assolutamente accertati, e le altre tre i cui periodi sono pure comunemente ammessi, stante l'esattezza colla quale furono calcolati, v'hanno altre comete alle quali da alcuni astronomi venne assegnato un periodo, sebbene le osservazioni dietro le quali questi periodi vennero determinati sieno tali da lasciar ancora molto dubbio sull'esattezza dei risultati.

I periodi di queste comete sarebbero fra loro diversissimi. Alcune avrebbero periodi assai brevi, anche di cinque o sei anni; altre periodi molto maggiori: quella del 1812, scoperta da Pons, avrebbe un periodo di 70 anni, e quella di Olbers, del 1815, un periodo di 74 anni; per cui queste due comete starebbero con quella di Halley: la terza cometa del 1845, scoperta da Colla, avrebbe un periodo di circa 249 anni; e la quarta del 1840, scoperta da Brémiker, un periodo di 344 anni: il periodo della grande cometa del 1811 sarebbe, secondo Argelander, di 3300 anni, e quello della famosa cometa del 1680, secondo Encke, di 8814 anni. L'orbita ellittica di quest'ultima cometa fu la prima ad essere determinata; ma stante la poca esattezza delle osservazioni fatte da Dörfel, si erano ottenuti risultati assai differenti fra loro: così Halley aveva trovato un'orbita di 375 anni, Eulero di anni 170 e mezzo, Pingré di 15864 anni: l'orbita calcolata da Encke, colla scorta di più esatte osservazioni fatte dal prof. Marchetti di Pisa, si può ritenere assai più probabile. Secondo quest'orbita la distanza perielia della cometa sarebbe di 0,0062, e l'afelia di 853,2, per cui il rapporto fra la distanza afelia e la perielia ammonterebbe a 137000: nel perielio essa si muoverebbe con una velocità di 393 chilometri per secondo, ossia 13 volte maggiore di quella della terra; nell'afelio non si muoverebbe che colla velocità di 3 metri per secondo, che è quanto dire circa il triplo della velocità de' fiumi d'Europa, e la metà della velocità osservata da Humboldt in un braccio dell'Orenoco, il Cassiquiaire: nel perielio essa si troverebbe ad una distanza dal sole 166 volte più piccola di quella della terra, il diametro del sole sarebbe quindi veduto sotto un angolo di oltre a 75°, e in essa si proverebbe un calore 27500 volte maggiore di quello che si ha sulla terra, e un tal calore secondo ogni apparenza sarebbe capace di volatilizzare la maggior parte delle sostanze terrestri; nell'afelio poi, la sua distanza dal sole essendo 853 volte maggiore di quella della terra, il diametro del sole apparirebbe sotto un angolo di circa 8″, vi si avrebbe un calore 728 mila volte minore di quello che si ha sulla terra, per cui non solo in queste condizioni tutti i mari agghiaccerebbero, ma anche la nostra atmosfera verrebbe forse a solidificarsi.

Dal confronto degli elementi delle orbite paraboliche delle due comete del 1264 e del 1556, calcolate, la prima da Pingré, la seconda da Halley, era nato sospetto sull'identità delle due comete, e che si dovesse avere una terza apparizione della medesima cometa nel 1848. Effettivamente ciò non ebbe luogo, ma parve che il ritorno dovesse protrarsi tra il 1858 e il 1860. Se non che, dopo la scoperta fatta dall'illustre Littrow di Vienna

crociano le orbite di due astri differenti: ma è d'uopo osservare che queste orbite non sono tutte in uno stesso piano; i loro piani sono diversamente inclinati sull'eclittica, per cui avviene che due orbite che sembrano tagliarsi passano realmente a una certa distanza l'una dall'altra, distanza che talvolta è grandissima.

delle opere di Paolo Fabricio, il principale osservatore della cometa del 1556, di un opuscolo di Gioachimo Heller, astronomo di Norimberga, e di altre opere antiche risguardanti la cometa medesima, parecchi distinti astronomi ne ripresero il calcolo dell'orbita; tra questi il signor Hoek di Leiden, il quale, ricalcolata colla maggior possibile esattezza anche l'orbita della cometa del 1264, giunse a dimostrare la non identità di quelle due comete, distruggendo così ogni dato sull'epoca probabile del loro ritorno.

Citeremo per ultimo la celebre cometa del 1770, chiamata comunemente cometa di Lexell. Questa cometa, scoperta da Messier il 14 giugno 1770 nel Sagittario, si presentava come una debole nebulosità; otto giorni dopo il suo nucleo brillava come una stella di seconda grandezza; prima di giungere al perielio non presentava traccia alcuna di coda, dopo ne svolse una che non aveva più di un grado di lunghezza. Essendosi invano tentato di assoggettare le osservazioni di questa cometa alle leggi del moto parabolico, Lexell pel primo trovò ch'essa descriveva un'ellisse con una rivoluzione la cui durata non era maggiore di 6 anni, ciò che venne anche verificato da Burckardt. A spiegare poi come questa cometa non erasi giammai veduta dapprima, Lexell fece notare come essa nel 1767 si fosse tanto avvicinata a Giove, che per l'azione di questo pianeta dovette cambiare la sua orbita, originariamente poco eccentrica, in un'altra di cinque anni e mezzo, ed avente una piccolissima distanza perielia. Nel marzo del 1776 questa cometa passò di nuovo al suo perielio, e sarebbe stata visibile se nelle ore opportune alle osservazioni non fosse stata immersa nella luce solare. Nel 1779 allontanandosi dal sole, nella sua piccola ellisse si avvicinò ancora di tanto a Giove che per la seconda volta cambiò l'orbita, percorrendone un'altra, nella quale anche nel suo perielio è tanto da noi lontana da esserci invisibile, e mai più non la si vedrà a meno che, per nuovi accidenti, non venga ancora a cambiar l'orbita avvicinandosi alla terra; il che venne tutto dimostrato anche da Laplace. Leverrier poi avrebbe trovato che, secondo una prima ipotesi, questa cometa avrebbe effettivamente attraversato nel 1779 le orbite dei satelliti di Giove, ma secondo un'altra ipotesi, sarebbe rimasta molto lontana al di fuori dell'orbita del quarto satellite. Questa cometa s'è avvicinata altresì moltissimo alla terra e ad altri pianeti, anzi è la cometa che più di tutte siasi avvicinata alla terra, mentre il giorno 28 giugno 1770 non ne era distante che circa sei volte la distanza della luna dalla terra; ma questi pianeti minori non esercitarono che una debolissima azione sul moto di essa. La nessuna perturbazione poi prodotta dalla cometa sulla rivoluzione della terra, e ancor più sulle orbite dei satelliti di Giove tra i quali forse ebbe a passare, rivela l'estrema piccolezza della massa della cometa.

285. **Distinzione tra i pianeti e le comete.** — Possiamo ora indicare precisamente in che consistano le differenze tra i pianeti e le comete, e a qual carattere si riconosca se un astro nuovamente scoperto debba essere collocato nell'una o nell'altra di queste due specie di astri.

I pianeti muovonsi tutti nella medesima direzione; i piani delle loro orbite sono poco inclinati gli uni agli altri; le eccentricità di queste orbite sono piccolissime, in guisa che i pianeti descrivono press'a poco circonferenze di circoli aventi il sole per centro comune. Le comete, al contrario, muovonsi in piani che sono spesse volte molto inclinati sul piano dell'eclittica; le une muovonsi con moto diretto, le altre con moto retrogrado; la maggior parte di esse descrivono orbite tanto allungate che in tutto il tempo in cui sono visibili sembrano muoversi secondo parabole; e pel piccol numero di quelle il cui moto ellittico è ben conosciuto, l'eccentricità dell'orbita è molto superiore a quelle delle orbite dei pianeti. La distanza d'una cometa dal sole prova considerevoli variazioni, e ne risulta che la cometa non può essere veduta che quando trovasi nella porzione della sua orbita che più s'avvicina al sole; la distanza d'un pianeta dal sole, al contrario, non varia che entro limiti ristretti, e il pianeta può essere osservato in tutte le parti della sua orbita, eccetto quando trovasi quasi nella direzione del sole, nel qual caso la viva luce che quest'astro spande nella nostra atmosfera ne toglie di ravvisarlo.

Qualunque astro novello che veggasi muoversi di moto diretto secondo un'ellisse poco eccentrica avente il sole in uno de'suoi fochi, è immediatamente classificato fra i pianeti: gli astri che non soddisfanno á queste condizioni sono considerati come comete.

Sembra che la distinzione così stabilita tra i pianeti e le comete non sia molto precisa. Le quattro comete periodiche delle quali abbiamo parlato precedentemente molto differiscono fra loro sotto il rapporto dell'eccentricità delle loro orbite; l'eccentricità della cometa di 7 anni e mezzo è molto più piccola di quella della cometa d'Halley; e si comprende che potrebbero esistere altre comete muoventisi in orbite ancor meno eccentriche di quella di 7 anni e mezzo; e se il loro moto fosse diretto, esse si avvicinerebbero considerabilmente a soddisfare le condizioni necessarie ond'essere collocate fra i pianeti. Fra gli astri che circolano intorno al sole vi sarebbe allora, per così dire, un passaggio insensibile dal pianeta, la cui orbita differisce meno da un circolo, alla cometa, la cui orbita ha la più grande eccentricità; e nella

serie continua delle orbite disposte in ordine alle loro eccentricità non si saprebbe ove porre il punto di separazione tra i pianeti e le comete. Ma così non succede, essendochè la distinzione tra le due specie di astri è esattamente determinata. La cometa di 7 anni e mezzo, la cui eccentricità fa eccezione tra le eccentricità delle comete, è ben lungi dal poter essere considerata come un pianeta; e non è per un semplice effetto del caso che gli astri di cui ci occupiamo possono essere così divisi in due gruppi ben distinti. Tutto porta a credere che i pianeti e le comete non abbiano una stessa origine; e questa diversità di origine, sulla quale ritorneremo più innanzi, spiega affatto naturalmente le differenze essenziali che abbiamo segnate tra i moti dei pianeti e delle comete, differenze che servono a distinguere gli uni dalle altre (*).

(*) L'inclinazione all'eclittica delle orbite delle comete interiori generalmente è debole e compresa fra 3° e 13°, eccetto quella della cometa di Brorsen, che non ascende a meno di 31° (vedi la nota a pag 600). Tutte poi le comete interiori scoperte sino al giorno d'oggi, al pari del pianeti e dei satelliti del nostro sistema solare, muovonsi di moto diretto.

L'autore suppone sempre che tutte la comete muovansi effettivamente in orbite ellittiche, mentre un'orbita parabolica non rappresenta che la curva limite di un certo sistema di ellissi, pel caso che non sia possibile la determinazione di quell'ellisse secondo la quale avvenga la rivoluzione della cometa. Veramente però dalla teoria dell'universale gravitazione deriva che qualunque *sezione conica* può essere descritta da un corpo che muovesi intorno ad un altro per l'azione di questa forza. E accadde infatti talvolta che nel calcolo degli elementi dell'orbita di una cometa, dedotti dai risultati dell'osservazione, non si potè rappresentare quest'orbita nè mediante un ellisse, nè mediante una parabola, che fosse il limite d'un sistema di ellissi, ma si trovò invece che siffatta orbita non era rappresentabile che mediante un'*iperbole:* tale fra le altre apparve essere la cometa del 1771, la cui orbita fu calcolata con somma esattezza da Encke. E dall'analisi risulta essere assai più difficili a prodursi le orbite iperboliche delle ellittiche, essendo poi molto improbabili le orbite paraboliche, circolari e rettilinee, nelle quali cinque linee sono comprese le sezioni coniche. Siccome poi le iperbole non sono linee chiuse, le comete muoventisi secondo tali linee non ritornerebbero più; ma dopo il loro passaggio al perielio, allontanandosi continuamente dal sole, andrebbero a raggiungere altri sistemi solari sparsi nell'immensità del cielo, eccetto il caso che nel passare vicino a qualcuno de' grandi pianeti avessero a scambiare in ellittiche le loro orbite iperboliche. Per la natura stessa di queste ultime orbite, assai rare debbono essere le apparizioni di comete muoventisi secondo esse, e assai più frequenti debbono essere invece le comete che, muovendosi in orbite rientranti, ritornano ad intervalli più o meno lunghi nelle regioni dello spazio vicine al sole.

286. Nozioni sulla natura delle comete. — Abbiamo detto che le comete presentano generalmente l'aspetto d'un nucleo brillante circondato d'una nebulosità, la quale si stende da una certa parte fino a una distanza più o meno grande dal nucleo. Questa nebulosità, che si può rassomigliare a una specie di nebbia analoga a quella che si forma di tempo in tempo nella nostra atmosfera, è ben lungi dall'essere così poco trasparente quali sono le nostre nebbie; mentre attraverso alla coda o alla chioma d'una cometa possono venire ravvisate delle stelle anche debolissime, quantunque i raggi luminosi che provengono da queste stelle abbiano spesso ad attraversarla nelle parti in cui presenta un grande spessore. La nebulosità d'una cometa deve adunque essere semplicemente considerata come un vapore leggerissimo accompagnante il nucleo.

I cambiamenti, spesso rapidissimi, che avvengono nella forma d'una cometa contribuiscono ancora a confermarci in quest'idea. Citeremo come esempio la cometa di Halley, che venne accuratamente osservata da Herschel figlio al Capo di Buona Speranza alla fine del 1835 ed al principio del 1836. Egli distinse la cometa, per la prima volta, il 28 ottobre 1835: la fig. 354 a pag. 585 rappresenta la cometa quale egli la vide in questo giorno medesimo con un cannocchiale la cui forza amplificativa era di 70 volte: il domani, 29 ottobre, egli osservò la cometa con un telescopio di 20 piedi (metri 6, 10), e trovò in essa la singolare apparenza che mostra la figura 358; un po' più tardi, nella medesima sera, il suo aspetto era notevolmente diverso (fig. 359). In capo ad alcuni giorni la cometa divenne invisibile a cagione della sua prossimità al sole, poi potè di nuovo essere osservata il 25 gennajo 1836: a quest'epoca essa aveva la forma che si vede nella figura 360; e nei giorni seguenti, 26, 27 e 28 gennajo, il suo aspetto cambiò progressivamente, come indicano le figure 361, 362, 363.

Avviene talvolta che una cometa è visibilissima, ed occupa un grande spazio nel cielo fino dal primo giorno della sua appari-

Confrontando poi fra loro le lunghezze dei semi-assi maggiori delle orbite del pianeta più vicino al sole, qual è Mercurio, e del pianeta più lontano dal sole, qual è Nettuno, si vedrà che la prima è contenuta 77 volte nella seconda; mentre confrontando la lunghezza del semi-assi maggiori delle orbite della cometa di Encke e della cometa del 1680, risulta che la prima è contenuta nella seconda 198 volte. Quanto alle durate delle rivoluzioni di questi astri, quella di Mercurio sta a quella di Nettuno come 1 a 683, e quella della cometa di Encke sta a quella della cometa del 1680 come 1 a 2370.

Fig. 358.

Fig. 359.

Fig. 360.

Fig. 361.

Fig. 362.

Fig. 363.

zione. Le leggi del suo moto, determinate in appresso dall'osservazione delle sue successive posizioni nel cielo, fanno vedere che la vigilia di questo primo giorno essa sarebbe stata discernibile senz'alcun dubbio se si fosse trovata nelle medesime condizioni di grandezza e splendore che nel giorno in cui s'è cominciato a discernerla. Non si può spiegare questa súbita apparizione d'una grande e bella cometa in una regione del cielo ove la vigilia nulla si vedeva se non ammettendo che la nebulosità della cometa prova un considerevole cangiamento nell'intervallo di un giorno. Fra le comete che presentarono questa notevole circostanza si può citare quella che venne veduta il 17 marzo 1843 a Parigi, a Milano e in molti altri luoghi: tutti osservarono nel cielo l'immensa striscia luminosa che formava la coda della cometa, e la cui lunghezza sottendeva un angolo di 40 gradi; eppure il 16 marzo nulla di simile era stato veduto nel cielo. Diremo di passaggio che di tutte le comete il cui moto venne studiato non ve n'ha alcuna che siasi tanto avvicinata al sole quanto quella di cui parliamo: la sua distanza perielia è stata circa di $\frac{1}{204}$ della distanza media del sole dalla terra. Si è calcolato che la più breve distanza del nucleo dalla superficie del sole era stata soltanto di 32000 leghe: la lunghezza della coda della cometa all'istante della súbita sua apparizione fu trovato di 60 milioni di leghe.

Più comunemente il nucleo d'una cometa non rassomiglia a un corpo solido, come un pianeta che fosse collocato nel mezzo della nebulosità: sembra piuttosto essere dovuto a una certa condensazione della materia che compone la nebulosità, o ad una accumulazione d'una gran quantità di questa materia in uno spazio ristretto; e tutto intorno a questo spazio la condensazione sembra progressivamente diminuire per modo da stabilire un passaggio insensibile dal nucleo alle parti più attenuate della chioma e della coda. Una cometa pertanto altro non sarebbe che un ammasso di materia vaporosa circolante nello spazio e soggetta nello stesso tempo a cambiamenti di forma più o meno pronunciati. Vedremo più lungi che le comete hanno masse piccolissime relativamente alle masse dei pianeti; e questo fatto importante dà molta forza all'idea che ci siamo formata intorno alla natura delle comete (*).

(*) Infatti alla debole forza d'attrazione che una massa centrale tanto piccola oppone alla espansibilità delle molecole costituenti una sostanza aeriforme, devesi assai probabilmente attribuire lo straordinario sviluppo dell'atmosfera delle comete. Così se la massa della terra si riducesse ad

La cometa di 6 anni $\frac{3}{4}$ ha presentato nel gennajo 1846 una circostanza molto singolare; essa si è divisa in due parti distinte, che hanno continuato a muoversi conservandosi a piccola distanza l'una dall'altra; ognuna di queste due parti era formata d'un nucleo accompagnato da una nebulosità. Quando la cometa riapparve nell'agosto 1852, dopo aver fatto l'intiero giro della sua orbita, le due parti nelle quali essa s'era divisa vennero di nuovo ravvisate, e la distanza dei loro nuclei era notevolmente aumentata. Non si sa a che cosa attribuire questa separazione, di cui non avevansi fino allora avuti esempi.

Venne spesso notato che la coda d'una cometa è diretta precisamente secondo il prolungamento della retta che va dal sole alla cometa; fino al presente nessuna considerazione teorica potè dar ragione di questa particolarità (*).

Fu posta la quistione se le comete sieno luminose per sè medesime, ovvero se esse non brillino che a cagione della luce che ricevono dal sole. Arago, mediante esperienze di polarizzazione, venne condotto ad ammettere che la luce delle comete è, in parte almeno, luce solare riflessa dalla loro superficie. Questa conseguenza deriverebbe d'altronde naturalmente da ciò che lo splendore d'una cometa diminuisce progressivamente a misura ch'essa allontanasi da noi, supposto che essa nello stesso tempo non subisca considerevoli cangiamenti nell'intima sua costituzione. Infatti, se essa fosse luminosa per sè medesima, il suo allontanamento dalla terra produrrebbe, è vero, diminuzione nelle sue dimensioni apparenti, ma la chiarezza della sua superficie non ne sarebbe alterata (19); o solo quando le sue dimensioni apparenti fossero molto piccole, tanto da non apparire che come un punto luminoso, l'incremento della sua distanza dalla terra diminuirebbe poco a poco il suo splendore, e finirebbe col renderla affatto invisibile. Il progressivo indebolimento dello splendore che presentano le comete a misura che si allontanano dalla terra e dal sole, e quand'esse si mostrano ancora con di-

essere la millesima parte dell'attuale, conservando questa per altro lo stesso volume, anche l'attrazione di essa sull'atmosfera diventerebbe mille volte minore, e l'atmosfera medesima potrebbe giungere ad occupare uno spazio mille volte maggiore di quello attualmente occupato ed anche di più, a cagione della diminuzione della gravità che ha luogo mano mano che aumenta la distanza dal centro d'attrazione.

(*) La cometa del 1823 ha presentato la singolarità d'avere una doppia coda, un ramo della quale era in direzione opposta a quella del sole, e l'altro quasi verso quest'astro, formando col primo un angolo di 160°.

mensioni apparenti molto sensibili, non potrebbe dunque spiegarsi che ammettendo ch'esse siano illuminate dal sole e che la diminuzione del loro splendore sia dovuta all'aumento della distanza da quest'astro. Sebbene queste considerazioni non si possano a tutto rigore applicare alle comete, a cagione dei cambiamenti che avvengono progressivamente nella loro costituzione, si può però ritenere che valgano ad appoggiare il risultato cui Arago è giunto per mezzo d'esperienze dirette sulla luce delle comete (*).

(*) Ammesso che lo splendore d'una cometa derivi dalla riflessione della luce solare, siccome nessuna cometa, anche fra le più ample e fornite di nucleo, non ebbe mai a presentare apparenza alcuna di fasi, così un'altra prova si raggiunge, che le comete non potrebbero essere altro che grandi ammassi di vapori sottili capaci d'essere totalmente attraversati dai raggi solari e di rifletterli da tutti i punti tanto interni che superficiali; e viene allora ad evidenza provato come le nubi più leggere natanti nelle alte regioni della nostra atmosfera, le quali durante il crepuscolo appariscono come corpi luminosi senz'ombre nè oscurità, anzi come in istato di ignizione, possano venire considerate quali corpi molto densi in confronto delle attenuatissime sostanze costituenti le comete.

È un altro fatto comprovante che la porzione luminosa di una cometa partecipa della natura di una nube o di una nebbia sospesa in un' atmosfera trasparente sta in ciò, che più volte venne osservato, essere la porzione della coda, la quale viene a congiungersi colla testa ed a circondarla, separata dalla testa medesima da un intervallo meno luminoso, come se uno strato trasparente la sostenesse e ne impedisse il contatto, a somiglianza degli strati di nubi natanti nella nostra atmosfera gli un al di sopra degli altri, mentre rimane tra essi un notevole intervallo occupato da aria trasparente. Da questo fatto, come da molti altri, deriverebbe ancora essere la struttura di questi astri come quella di un inviluppo cavo di forma parabolica e ravvolgente al vertice la testa ed il nucleo. Con ciò verrebbe anche a spiegarsi l'apparente divisione della coda in due precipue falde laterali, quale venne talvolta osservata; giacchè il sistema di raggi visuali provenienti dai lembi della coda, essendo diretto obbliquamente rispetto all'inviluppo, porta al nostro occhio la luce corrispondente ad un maggior spessore di materia illuminata, e quindi i lembi ci riescono visibili; mentre al contrario può non riescire visibile la parte centrale dell'inviluppo, essendo assai più scarsa la luce da essa proveniente e che arriva al nostro occhio. Tutto ciò per altro non esclude la probabilità che esistano comete aventi svariatissime strutture, e che la costituzione fisica di qualcuna di esse sia affatto differente di quanto si è detto fin qui.

CAPITOLO SESTO

DELLA GRAVITAZIONE UNIVERSALE

287. **Scoperta della gravitazione universale fatta da Newton.** — Dopo che Keplero ebbe fatto conoscere le vere leggi del moto dei pianeti intorno al sole (261), l'attento esame di queste leggi, unicamente basate sui risultati dell'osservazione, doveva condurre alla cognizione delle cause che agiscono sui pianeti e determinano le diverse circostanze del loro moto: ora ciò è quanto avvenne in fatti. Newton, il cui vasto genio appena bastava per trattare questa grande quistione, ebbe la gloria di dedurre dalle leggi di Keplero le conseguenze che implicitamente vi erano racchiuse, e di porre così i fondamenti dell'astronomia matematica, la più bella delle scienze che siano state create nei tempi moderni. Ora vedremo la serie delle idee per le quali egli è giunto a questo risultato.

I pianeti sono corpi isolati nello spazio, che muovonsi intorno al sole descrivendo linee curve, con velocità variabili da un istante all'altro. Ma è noto che, in virtù dell'inerzia della materia, il moto d'un corpo intieramente libero nello spazio, e non soggetto all'azione d'alcuna forza, è necessariamente rettilineo ed uniforme; e non compiendosi di siffatta guisa il moto dei pianeti, devesi conchiudere che ognun d'essi è soggetto ad una certa forza che ne fa cambiare continuamente la grandezza e la direzione della velocità. Rimane a sapersi quali siano ad ogni istante la direzione e l'intensità di questa forza, il che ritrovasi analizzando le leggi cui soddisfanno i moti dei pianeti.

288. La seconda legge di Keplero, relativa alle aree descritte dalla retta che congiunge un pianeta col sole (261), fa vedere che la forza di cui si tratta agisce precisamente secondo questa retta; ciò che Newton riconobbe in primo luogo mediante le seguenti considerazioni.

Supponiamo che un pianeta, muoventesi ad una certa distanza dal sole, sia soggetto all'azione d'una forza che si mantenga sempre diretta verso quest'astro; e supponiamo che questa forza, invece d'agire sul pianeta continuamente, non agisca che con intermittenza, ad istanti successivi separati gli uni dagli altri per eguali intervalli di tempo. Sia A B (fig. 364) il cammino percorso dal pianeta nella durata di uno di questi intervalli di tempo, cammino che sarà rettilineo, poichè durante il tempo che impiega il pianeta a percorrerlo non è soggetto all'azione di forza alcuna. Giunto in B, il pianeta sente l'azione istantanea della forza che gli è applicata, e che supponiamo diretta verso il sole S; ma subito dopo il pianeta si muoverà uniformemente e in linea retta per tutto un nuovo intervallo di tempo uguale al precedente, colla nuova velocità che avrà acquistata per l'azione della forza sopra di esso esercitata in B. Alla fine di questo secondo intervallo di tempo la forza agirà di nuovo sul pianeta per modificare ancora la sua velocità, e così di seguito.

Fig. 364.

Confrontiamo tra loro i moti del pianeta durante i due primi intervalli di tempo di cui abbiamo parlato. Giunto il pianeta in B, esso continuerebbe a muoversi secondo la stessa direzione di prima se in questo punto B non provasse l'azione della forza che gli è applicata; e nel secondo intervallo di tempo percorrerebbe un cammino B M precisamente uguale ad A B: ma la forza che agisce sopra di esso, quando è in B, gli comunica istantaneamente, secondo la direzione B S, una certa velocità che si combina con quella che già possedeva; e da questa combinazione risulta una nuova velocità, della quale trovasi poi il pianeta realmente animato durante il secondo intervallo di tempo. Sia B N il cammino che percorrerebbe il pianeta durante questo tempo se non possedesse che la velocità che gli viene comunicata dalla forza in B; essendo d'altra parte B M il cammino che il pianeta avrebbe percorso nello stesso tempo se avesse conservata la velocità che aveva prima di giungere in B, è noto che il cammino realmente percorso dal pianeta altro non è che la diagonale B C del parallelogrammo costruito sulle due rette B M, B N. Il pianeta che da A è passato in B durante il primo degli intervalli di tempo che consideriamo, passa dunque da B

in C durante il secondo di questi intervalli di tempo. Ora, essendo C M parallela a B S, si vede che i due triangoli B C S, B M S hanno uguale superficie, avendo essi la stessa base B S, mentre i loro vertici C, M sono situati sopra una retta parallela a questa base; ma i due triangoli A B S, B M S hanno pure uguale superficie, avendo basi uguali A B, B M e la stessa altezza, che è la distanza del punto S dalla retta A B M: dunque le superficie dei due triangoli A B S, B C S, ognuna delle quali è uguale a quella del triangolo B M S, sono pure fra loro uguali. Così l'azione che la forza esercita sul pianeta in B, secondo la direzione B S, modifica in generale la grandezza e la direzione della velocità di cui esso è animato; ma la superficie del triangolo descritto dalla retta che unisce il pianeta al sole S, nell'intervallo di tempo che precede il giungere del pianeta in B, ha esattamente lo stesso valore della superficie del triangolo analogo descritto nell'intervallo di tempo della stessa durata che segue il passaggio del pianeta per questo punto B.

Continuando il pianeta nel suo moto durante un tempo qualunque, sempre nell'ipotesi di un'azione intermittente e regolare della forza che gli è applicata, è facile il vedere ch'esso muovesi in linea retta durante ognuno degli intervalli di tempo compresi tra due azioni consecutive della forza; che le diverse rette che così percorre, durante questi tempi successivi tra loro uguali, non sono nè uguali, nè poste nella stessa direzione, per modo che col loro insieme formano il perimetro d'un poligono A B C D E (fig. 365), che è la via percorsa dal pianeta nello spazio, e che è situato tutto intiero nel piano condotto pel suo primo lato A B e per il sole S: ma i diversi triangoli, avendo per vertice il sole e per base i diversi lati di questo poligono, hanno tutti esattamente uguale superficie. L'area totale del settore poligonale S A B C D E, descritto durante un tempo qualunque dalla retta che congiunge il pianeta col sole, è dunque proporzionale al numero dei triangoli onde questo settore si compone; e per conseguenza quest'area è altresì proporzionale al tempo impiegato dal pianeta a passare da A in E.

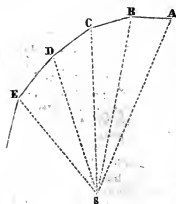



Fig. 365.

Il risultato cui siamo giunti supponendo che un pianeta sia soggetto all'azione intermittente e regolare d'una forza diretta verso il sole, non dipende in modo alcuno dalla durata più o meno grande dell'intervallo di tempo compreso tra due azioni consecutive della forza. Se ammettiamo che gl'intervalli di tempo che separano le azioni successive di questa forza divengano ognor più piccoli, rimanendo però tra essi uguali, l'area del settore descritto in un tempo qualunque dalla retta che congiunge il pianeta col sole si manterrà sempre proporzionale a questo tempo: accadrà dunque lo stesso quando questi intervalli di tempo saranno infinitamente piccoli, vale a dire quando le azioni successive della forza si manifesteranno senz'interruzione, o, in altri termini, quando la forza agirà in modo continuo; ma è chiaro che allora il poligono descritto dal pianeta si tramuterà in una linea curva, tutta parimente compresa in un piano passante pel sole. Così nel caso in cui un pianeta si muovesse sotto l'azione incessante d'una forza costantemente diretta verso il sole, il suo moto succederebbe in un piano passante pel sole, ed esso percorrerebbe la sua orbita curvilinea per modo che l'area del settore, descritto in un tempo qualunque nell'interno di quest'orbita dalla retta che lo congiunge al sole, sarebbe proporzionale a questo tempo.

La legge del moto, che abbiamo ottenuta ammettendo che il pianeta di cui ci occupiamo sia soggetto ad una forza costantemente diretta verso il sole, è precisamente la seconda delle leggi cui soddisfanno realmente i moti dei pianeti intorno al sole. Ma ciò non basta, perchè possiamo conchiuderne che la forza cui ciascun pianeta è soggetto abbia veramente la direzione della quale abbiamo parlato; ma è d'uopo ancora accertarci che la proporzionalità delle aree descritte intorno al sole ai tempi impiegati a descriverle, non possa aver luogo che nel caso in cui la forza agente sul pianeta sia diretta verso il sole, ciò che facilmente raggiungeremo.

Riferiamoci alla figura 364. Se la forza che agisce sul pianeta quand'esso giunge in B avesse una direzione diversa da quella della retta B S, B N farebbe un certo angolo con questa retta B S; C M, che è parallela a B N, non sarebbe dunque parallela a B S; i due triangoli B C S, B M S, avendo la stessa base B S, avrebbero i loro vertici C, M a distanze disuguali da questa base, e quindi le loro superficie sarebbero disuguali; il triangolo A B S, sempre equivalente a B M S, non sarebbe dunque equivalente al triangolo B C S. I diversi triangoli A B S, B C S, C D S,....

(fig. 365), corrispondenti ai cammini A B, B C, C D,.... percorsi in tempi successivi ed uguali, non avrebbero dunque uguali superficie, e per conseguenza l'area del settore poligonale S A B C D E non sarebbe proporzionale al tempo impiegato dal pianeta ad andare da A in E. Ciò che ha luogo nel caso in cui la forza agisce con intermittenza, avrà luogo ancora quando si supporrà che la forza agisca continuamente. Da tutto quanto precede si può dunque dire che, da una parte, se la forza che agisce sopra un pianeta è costantemente diretta verso il sole, le aree descritte dalla retta che congiunge il pianeta col sole sono proporzionali ai tempi impiegati a descriverle; e d'altra parte, se la forza che agisce sul pianeta non è diretta verso il sole, non esiste la proporzionalità di queste aree ai tempi corrispondenti. La seconda legge di Keplero trae dunque seco necessariamente questa conseguenza, che la forza alla quale ogni pianeta è soggetto è costantemente nella direzione della retta che congiunge il pianeta col sole.

Nei ragionamenti che precedono abbiamo implicitamente ammesso che la forza agente secondo la retta che congiunge il pianeta col sole fosse diretta verso quest'ultimo astro, vale a dire tendesse ad avvicinare il pianeta al sole. Ma è facile il vedere che il verso secondo cui agisce la forza non ha influenza sul risultato a cui siamo giunti: che la forza tenda a diminuire o ad aumentare la distanza del pianeta dal sole poco importa; purchè la sua direzione sia secondo la retta che congiunge questi due corpi, le aree descritte dal pianeta intorno al sole sono sempre proporzionali ai tempi impiegati a descriverle: il verso secondo cui agisce la forza viene reso manifesto soltanto dalla maniera colla quale è rivolta la concavità dell'orbita descritta dal pianeta. Se la forza tende ad avvicinare il pianeta al sole, la concavità della curva descritta dal pianeta è evidentemente rivolta verso il sole; se al contrario la forza tende ad allontanare il pianeta dal sole, verso quest'ultimo astro è rivolta la convessità dell'orbita. Siccome l'osservazione indica che ha luogo il primo di questi due casi, così se ne conchiude che la forza che agisce sul pianeta tende ad avvicinarlo al sole, come abbiamo supposto da principio.

289. Il risultato cui siamo giunti, appoggiandoci alla seconda legge di Keplero, è la sola conseguenza che da questa legge si possa dedurre. La proporzionalità delle aree descritte dalla retta che congiunge un pianeta col sole, ai tempi impiegati a descriverle, ci fece conoscere per ogni istante la direzione della forza

che agisce sul pianeta; ma nulla ci può indicare sul modo onde varia da un istante all'altro l'intensità di questa forza. Che la forza agente sul pianeta abbia una grandezza costante o variabile, ch'essa vada crescendo ovvero diminuendo, che varii lentamente o rapidamente, che agisca con legge continua o discontinua, poco importa; purchè si mantenga sempre nella direzione della retta che va dal pianeta al sole, la proporzionalità di cui si tratta sussisterà sempre, come possiamo facilmente assicurarcene esaminando i ragionamenti seguiti or fa un istante. Non si può dunque sperare di giungere a qualche cosa di più se non ricorrendo alle altre due leggi di Keplero.

La terza legge, la quale consiste in ciò che i quadrati dei tempi delle rivoluzioni dei pianeti sono tra essi come i cubi degli assi maggiori delle loro orbite, non dipende in alcuna guisa dalle eccentricità di queste orbite. Si comprende adunque ch'essa sussisterebbe ancora nel caso che queste eccentricità fossero tutte nulle, vale a dire se le orbite fossero circonferenze di cerchio aventi per centro il sole. Così, per dedurre dalla terza legge di Keplero le conseguenze in essa racchiuse, potremo considerare i pianeti come se descrivano delle circonferenze di cerchio intorno al sole, senza che ne risulti la menoma inesattezza: con ciò sostituiremo ai pianeti reali dei pianeti ideali, i quali, se esistessero, soddisferebbero ugualmente a questa terza legge. La seconda legge, la quale è anch'essa indipendente dalle eccentricità delle orbite, mostra in oltre che se un pianeta descrivesse una circonferenza di circolo avente il suo centro nel sole, la velocità di questo pianeta sulla sua orbita si manterrebbe costantemente la stessa. Onde dedurre adunque dalla terza legge di Keplero le conseguenze cui essa può condurre, ragioneremo considerando i pianeti come muoventisi di moti uniformi secondo circonferenze di cerchio aventi il sole per centro.

290. Richiamiamoci dapprima in qual modo si valuta l'intensità d'una forza dal moto ch'essa comunica al corpo su cui agisce, e prendiamo per esempio la forza che più ci è famigliare, la forza cioè di gravità. Un corpo cadendo liberamente per la sola azione della gravità, senza che gli sia stata impressa alcuna velocità iniziale, muovesi di moto uniformemente accelerato secondo la verticale; alla fine d'un minuto secondo di tempo, contato dal principio del suo moto, esso ha acquistato tale velocità che se continuasse a muoversi in virtù di questa sola velocità, senza che la gravità esercitasse di nuovo sopra di esso la propria azione, percorrerebbe, in un altro minuto secondo, un cam-

mino doppio di quello che ha percorso nel primo minuto secondo. La grandezza di questa velocità acquistata alla fine d'un secondo di caduta è proporzionale alla forza che determina il moto del corpo; se l'intensità della gravità diventasse doppia, tripla,... di quella che è attualmente, la velocità che acquisterebbe un corpo alla fine d'un secondo di caduta diverrebbe parimente doppia, tripla.... La forza che fa cadere un corpo, e che non è altro che il suo peso, è d'altronde proporzionale alla massa del corpo; ed è noto che la sua intensità può essere rappresentata dal numero che si ottiene moltiplicando la massa del corpo per la velocità ch'esso possiede dopo un secondo di caduta. La forza che agisce sull'unità di massa del corpo è dunque rappresentata semplicemente dalla velocità acquistata dal corpo dopo un secondo di caduta, od anche, ciò che torna lo stesso, dal doppio dello spazio ch'esso percorre in un secondo dal principio del suo moto (*).

Quando un corpo pesante è lanciato orizzontalmente con una velocità qualunque, non si mantiene sulla retta A M (fig. 366) secondo cui esso è stato lanciato, perchè la gravità tende continuamente ad abbassarlo al di sotto di questa linea; esso descrive una curva A B C, i cui diversi punti sono ognor più lontani dalla retta A M.

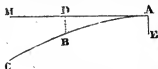



Fig 366.

Ora è noto che quando un corpo è giunto in un punto qualunque B della sua trajettoria, la quantità B D, di cui trovasi abbassato al di sotto della retta A M, è precisamente uguale al cammino A E ch'esso avrebbe percorso secondo la verticale se fosse caduto senza velocità iniziale, nel tempo da esso impie-

(*) È pertanto assolutamente necessario il distinguere il *peso* d'un corpo dalla *gravità*. La gravità è la forza che agisce sull'*unità di massa* del corpo, e che tende a farla cadere verso il centro della terra, e più esattamente, avuto riguardo all'ellitticità della terra, a farla cadere secondo una direzione perpendicolare alla superficie dei liquidi stagnanti: il peso è l'effetto totale di questa forza sull'intiera massa del corpo, e si misura manifestamente dallo sforzo necessario a sostenere il corpo medesimo. Siccome poi questa forza totale è impiegata a far muovere l'intiera massa del corpo, così questo deve muoversi precisamente come l'unità di massa sotto l'azione della semplice gravità. Gli è perciò che tutti i corpi liberamente cadenti impiegano l'egual tempo a percorrere eguali cammini, fatta astrazione dalla resistenza dell'aria, o, ciò che è lo stesso, che essi acquistano tutti l'egual velocità dopo un secondo di caduta.

gato a passare da A in B. Prendendo il punto B della trajettoria in cui trovasi il corpo dopo un minuto secondo di moto, B D sarà precisamente il cammino ch'esso avrebbe percorso in un secondo, dal principio del suo moto, se lo si fosse lasciato cadere dal punto A senza imprimergli velocità; il doppio della distanza B D sarà dunque, da quanto precede, la misura della forza che determina la caduta dell'unità di massa del corpo.

Vediamo ora come, appoggiandoci a queste considerazioni, potremo determinare la grandezza della forza che agisce sull'unità di massa d'un pianeta, ammettendo che questo pianeta muovasi uniformemente secondo una circonferenza di circolo avente per centro il sole. Giunto in A (fig. 367), il pianeta è animato d'una velocità diretta secondo la tangente A M, e trovasi nelle stesse condizioni che se lo si fosse lanciato da questo punto secondo la direzione A M colla velocità medesima ch'esso possiede. Esso si muoverebbe indefinitamente secondo questa direzione se alcuna forza non venisse ad agire sopra di esso per farnelo deviare; ma per contrario esso è soggetto all'azione di una forza continuamente diretta verso il sole, e che tende ad avvicinarlo a quest'astro; cedendo pertanto a quest'azione, si allontana ognor più dalla tangente A M; e si può dire ch'esso cade verso il sole, come si dice che un corpo pesante cade verso la superficie della terra quando venne lanciato secondo una retta A M (fig. 366), e che muovesi secondo la curva A B C. Considerando il moto del pianeta in una piccolissima porzione della sua orbita, a partire dal punto A (fig. 367), la dire-

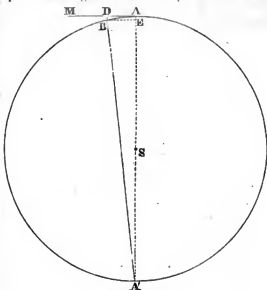



Fig 367.

zione della forza che agisce sopra di esso non cambia sensibilmente durante tutto il tempo in cui esso percorre questa porzione d'orbita, e possiamo considerarla come costantemente parallela a sè stessa; ci troviamo quindi in un caso affatto analogo a quello d'un corpo lanciato orizzontalmente alla superficie della terra, e che per l'azione della gravità s'abbassa ognor più al di sotto della direzione secondo cui venne lanciato (*). Prendendo sull'orbita del pianeta l'arco A B ch'esso percorre in un minuto secondo di tempo, la distanza B D del punto B dalla tangente A M sarà la quantità di cui il pianeta sarà caduto verso il sole durante questo minuto secondo, e il doppio di B D servirà di misura alla forza che agisce sull'unità di massa del pianeta.

Per trovare il valore di B D opereremo nel modo seguente. Abbassiamo dal punto B la perpendicolare B E sul raggio A S, poi congiungiamo lo stesso punto B col punto A' dell'orbita che è diametralmente opposto al punto A: la retta A E sarà uguale a B D; e considerando l'arco A B come confondentesi colla sua corda, ciò che è permesso di fare a cagione della piccolezza di quest'arco, l'angolo A B A' sarà retto come inscritto in un semicircolo. Ma nel triangolo rettangolo A B A' si ha la proporzione seguente:

$$\frac{AE}{AB} = \frac{AB}{AA'};$$

donde si deduce:

$$AE = \frac{\overline{AB}^2}{AA'} = \frac{\overline{AB}^2}{2.AS}.$$

L'arco A B, essendo il cammino percorso dal pianeta in un minuto secondo, rappresenta precisamente la sua velocità. Adunque la

(*) Havvi per altro un'*apparente* differenza fra il moto d'un pianeta intorno al sole e il moto d'un corpo lanciato alla superficie della terra: mentre il pianeta continua indefinitamente il suo moto girando intorno al sole, nel corpo lanciato sulla terra cessa il moto quando esso viene ad urtarne la superficie. Ma anche una tal differenza è tolta ben tosto se consideriamo che in questo corpo il moto per tutta la sua durata non è mai diretto verso il centro della terra, come non lo è anche all'istante del suo incontro colla superficie terrestre; per cui possiamo ritenere con certezza che se il corpo non venisse fermato dalla resistenza del suolo, esso continuerebbe a discendere *obbliquamente*, senza giammai raggiungere il centro della terra, circolando intorno a questo centro precisamente come fa un pianeta intorno al sole, il fermarsi pertanto d'un corpo lanciato orizzontalmente alla superficie della terra dipende dalle enormi dimensioni della terra stessa in confronto alla dimensione della curva descritta dal corpo medesimo: fu calcolato che un projettile lanciato colla velocità di 7000 metri per secondo non verrebbe fermato dalla superficie terrestre.

quantità A E, ovvero B D, di cui il pianeta cade verso il sole in un secondo, si ottiene dividendo il quadrato della sua velocità pel doppio del raggio della sua orbita. La forza che agisce sull'unità di massa del pianeta, essendo misurata dal doppio di questa quantità, sarà uguale al quoto che si ottiene dividendo il quadrato della velocità del pianeta pel raggio del cerchio di cui esso descrive la circonferenza.

291. Siamo ora in grado di paragonare le intensità delle forze che agiscono sull'unità di massa dei diversi pianeti per mezzo della terza legge di Keplero. Supponiamo perciò che esistano de' pianeti i quali si muovano uniformemente in periferie di cerchio aventi per centro il sole, e trovinsi situati da quest'astro a distanze proporzionali ai numeri

$$1, \quad 2, \quad 3, \quad 4, \quad 5, \quad \ldots.$$

Per avere la velocità d'uno qualunque di questi pianeti fa mestieri dividere la lunghezza della circonferenza ch'esso percorre pel numero di secondi che impiega a percorrerla: il quadrato di questa velocità sarà quindi uguale al quoziente che si ottiene dividendo il quadrato della circonferenza dell'orbita del pianeta pel quadrato del tempo della sua rivoluzione. Ora i quadrati delle circonferenze delle orbite dei diversi pianeti che consideriamo sono tra essi come i quadrati delle distanze di questi pianeti dal sole, vale a dire sono proporzionali ai numeri

$$1, \quad 4, \quad 9, \quad 16, \quad 25, \quad \ldots;$$

d'altra parte, per la terza legge di Keplero, i quadrati dei tempi delle rivoluzioni di questi pianeti essendo proporzionali ai cubi degli assi maggiori delle loro orbite, vale a dire ai cubi dei diametri dei cerchi di cui descrivono le periferie, od anche ai cubi delle loro distanze dal sole, sono tra essi come i numeri

$$1, \quad 8, \quad 27, \quad 64, \quad 125, \quad \ldots.$$

I quadrati delle velocità dei pianeti, i quali ottengonsi dividendo i quadrati delle circonferenze delle orbite pei quadrati dei tempi delle rivoluzioni, saranno dunque tra essi come i quozienti che si otterranno dividendo rispettivamente i numeri 1, 4, 9, 16, ... pei numeri 1, 8, 27, 64, ...; vale a dire saranno tra loro come i numeri

$$1, \quad \tfrac{1}{2}, \quad \tfrac{1}{3}, \quad \tfrac{1}{4}, \quad \tfrac{1}{5}, \quad \ldots.$$

Ma per avere la misura della forza che agisce sull'unità di massa di ognuno dei nostri pianeti è d' uopo dividere il quadrato della

sua velocità pel raggio del cerchio di cui descrive la circonferenza: i quozienti che così si otterranno pei diversi pianeti saranno evidentemente proporzionali ai quozienti di 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$,... divisi rispettivamente per 1, 2, 3, 4,...; vale a dire ch'essi saranno tra loro come i numeri

$$1, \quad \frac{1}{4}, \quad \frac{1}{9}, \quad \frac{1}{16}, \quad \frac{1}{25}, \quad \ldots.$$

Adunque le forze che agiscono sull'unità di massa dei diversi pianeti sono in ragione inversa dei quadrati delle distanze di questi pianeti dal sòle.

Fu soltanto per semplificare l'esposizione del precedente ragionamento che l'abbiamo applicato non già ai pianeti reali, ma a pianeti ideali, le cui distanze dal sole fossero proporzionali ai numeri 1, 2, 3, 4, ... Sostituendo a questi numeri intieri i numeri che rappresentano le distanze medie del sole da Mercurio, da Venere, dalla terra, ecc. (265), si giungerà esattamente ai medesimi risultati: sempre si troverà che le forze che agiscono sull'unità di massa di ognuno di questi pianeti sono in ragione inversa dei quadrati delle distanze dei pianeti dal sole.

292. Newton, essendo giunto in questo modo a trovare la legge secondo cui la forza applicata all'unità di massa di ogni pianeta varia colla distanza di questo pianeta dal sole, cercò poscia di riconoscere se la forma ellittica delle orbite non risultasse immediatamente da questa medesima legge. Studiò pertanto il moto che doveva assumere un corpo a cui venisse impressa una velocità iniziale qualunque, e che venisse poscia ad essere soggetto all'azione d'una forza costantemente diretta verso un punto fisso e variabile nella ragione inversa del quadrato della distanza del corpo da questo punto fisso; e riconobbe che l'orbita descritta dal corpo nelle indicate condizioni era necessariamente una *sezione conica*, avente il punto fisso per foco. Ora è noto che le sezioni coniche, vale a dire le curve secondo le quali la superficie d'un cono può essere tagliata da un piano, sono di tre specie; cioè, 1.° l'*ellisse*, che abbiamo già precedentemente definita (101), e che si ottiene tagliando il cono mediante un piano il quale incontri tutte le generatrici situate dalla stessa parte del vertice; 2.° la *parabola*, che corrisponde al caso in cui il cono è tagliato da un piano parallelo ad uno de' suoi piani tangenti, e che può dedursi dall'ellisse, come abbiamo già spiegato (282); 3.° finalmente l'*iperbole*, della quale non abbiamo avuto occasione di parlare, e che risulta dall'in-

tersezione del cono con un piano parallelo a due delle sue generatrici (*).

La variazione della forza che agisce su di un pianeta nella ragione inversa del quadrato della distanza di questo pianeta dal sole, trovasi quindi manifestata dalla forma ellittica della sua orbita e dalla posizione del sole nell'uno de' fochi di quest'orbita.

Fermandoci alla conseguenza dedotta dalla terza legge di Keplero nell'antecedente paragrafo, potremmo credere che l'ineguaglianza delle forze che agiscono sulle unità di massa dei diversi pianeti derivi da ciò, che le forze totali applicate a questi pianeti non emanino da una causa medesima, e agiscano sopra corpi di masse differenti. L'esistenza della terza legge di Keplero, donde deducemmo come necessaria conseguenza la relazione tanto semplice che esiste tra le intensità di queste forze applicate alle unità di massa dei pianeti e le distanze dei pianeti dal sole, potrebbe venire attribuita sia a un puro effetto accidentale, sia ad ignote circostanze che accompagnarono la primitiva disposizione dei pianeti intorno al sole; per modo che se venisse ad essere modificato l'ordine stabilito, avvicinandosi al sole alcuni pianeti, ovvero allontanandosene, le forze che agirebbero sull'unità di massa d'ognuno d'essi più non sarebbero in ragione inversa dei quadrati delle distanze di questi pianeti dal sole. Ma il nuovo risultato a cui siamo giunti non può lasciar dubbio alcuno a questo riguardo: il solo fatto del cambiamento della distanza d'un pianeta dal sole trae seco un corrispondente cambiamento nella grandezza della forza cui questo pianeta è soggetto; la forma ellittica dell'orbita ch'esso descrive dimostra che la forza che gli è applicata varia in ragione inversa del quadrato della sua distanza dal sole. Se un pianeta situato ad una distanza 1 dal sole s'allontanasse da quest'astro fino a giungere ad occupare il posto d'un altro pianeta la cui distanza dal sole fosse 2, la forza che gli è applicata si ridurrebbe al quarto di

(*) Sebbene queste tre soltanto sieno le linee che particolarmente chiamansi *sezioni coniche*, pure a queste sezioni appartengono anche la *circonferenza circolare*, che risulta dalla sezione della superficie del cono con un piano parallelo alla base, e la *linea retta*, risultante dalla intersezione della superficie conica con un piano passante per l'asse: quest'ultima sezione presenta la figura di un triangolo. Anche la ciconferenza circolare e la linea retta, teoricamente parlando, come le altre tre linee potrebbero essere percorse da un corpo che muovasi per l'azione di una forza iniziale combinata con un'altra forza diretta verso un punto fisso e la cui intensità varii in ragione inversa del quadrato della distanza.

ciò che era dapprima; la forza agente sull'unità di massa di questo pianeta diverrebbe quindi parimente quattro volte minore, vale a dire essa assumerebbe precisamente il valore della forza agente sull'unità di massa del pianeta di cui esso verrebbe a prendere il posto. Le forze applicate all'unità di massa dei diversi pianeti sono adunque disuguali soltanto per trovarsi i pianeti a differenti distanze dal sole; che se essi fossero tutti collocati alla stessa distanza da quest'astro, l'unità di massa d'ognun d'essi sarebbe esattamente soggetta alla stessa forza. Le forze totali che agirebbero sui diversi pianeti, nel caso in cui essi fossero così portati alla stessa distanza dal sole, non differirebbero le une dalle altre che a cagione dell'ineguaglianza delle masse dei pianeti: queste forze si troverrebbero proporzionali alle masse dei corpi ai quali sarebbero applicate.

Da tutto ciò che precede risulta evidentemente che *tutto avviene come se il sole attirasse verso di sè i pianeti, essendo le forze d'attrazione proporzionali alle masse dei pianeti e in ragione inversa dei quadrati delle loro distanze dal sole.* Diciamo che tutto avviene come se il sole attirasse i pianeti, poichè ci è impossibile giungere alla piena cognizione della natura intima della forza alla quale ogni pianeta è soggetto. Questa forza non ci si manifesta che dagli effetti risultanti dalla sua azione sul pianeta, e dall'attento esame di questi effetti possiamo soltanto arrivare a conoscere per ogni istante la grandezza e la direzione della forza medesima. Noi non possiamo in modo alcuno decidere se il sole attira realmente i pianeti, ovvero se la tendenza dei pianeti ad avvicinarsi al sole sia dovuta ad una cagione del tutto diversa da ciò che intendiamo per un'attrazione che emani da quest'astro.

293. Newton fu condotto alla ricerca delle conseguenze che si potevano cavare dalle leggi di Keplero riflettendo sulla caduta dei corpi alla superficie della terra. Primieramente egli si dimandò se la forza in virtù della quale cadono i corpi, vale a dire quella che noi chiamiamo forza di *gravità*, non fosse quella stessa che ritiene la luna nella sua orbita intorno alla terra. Ma per risolvere una tal quistione gli era d'uopo sapere se poteva considerare l'intensità della gravità come costante, qualunque fosse la distanza compresa tra il corpo su cui essa agisce e il centro della terra; e nel caso in cui questa intensità non fosse costante gli bisognava conoscere la legge della sua variazione secondo la distanza. Pensò egli allora che le forze che ritengono i pianeti nelle loro orbite intorno al sole potevano ben essere anche

della stessa natura della gravità, e che l'esame delle leggi cui soddisfanno i loro moti avrebbe potuto fornirgli le indicazioni di cui aveva bisogno relativamente alla variazione di questa forza colla distanza. Gli è così che analizzò le leggi di Keplero e che ne dedusse le conseguenze che abbiamo sviluppate.

Ritornò in appresso alla quistione che da principio l'aveva preoccupato, e cercò di riconoscere se la forza che ritiene la luna nella sua orbita altro non fosse che la gravità terrestre diminuita conformemente alla legge ch'egli aveva trovato, vale a dire nel rapporto inverso del quadrato della distanza dal centro della terra. Il risultato delle sue ricerche fu pienamente d'accordo colle sue previsioni.

È noto che la velocità acquistata dopo un secondo di caduta da un corpo che cade vicino alla superficie della terra, senza aver ricevuto alcuna velocità iniziale, è uguale a 9^{m},8088. Questa velocità serve di misura all'intensità della forza che agisce sull'unità di massa del corpo, e ne determina la caduta. Ammettendo che l'azione della gravità sopra uno stesso corpo varii in ragione inversa del quadrato della distanza di questo corpo dal centro della terra, basterà dividere il numero 9,8088 pel quadrato di 60, ovvero per 3600, per avere l'intensità della forza della gravità agente sull'unità di massa d'un corpo collocato come la luna ad una distanza dal centro della terra uguale a 60 raggi terrestri (202); il quoziente di questa divisione è uguale a 0,002724. D'altra parte la circonferenza della terra è di 40 milioni di metri, e la circonferenza dell'orbita della luna è 60 volte maggiore; dividendo la lunghezza di quest'ultima circonferenza pel numero di secondi contenuti nella durata della rivoluzione siderea della luna (210), trovasi che la velocità della luna è di 1016^{m},7 per secondo. Dividendo il quadrato di questa velocità della luna pel raggio della sua orbita devesi ottenere la misura della forza che agisce sull'unità di massa della luna (290), e si trova così il numero 0,002706. Questo numero differisce pochissimo da quello che abbiamo trovato per l'intensità della gravità relativa ad un corpo che fosse collocato alla distanza dal centro della terra uguale a quella della luna; trascurando la piccola differenza che esiste tra questi due numeri 0,002724 e 0,002706, vedesi che la forza che ritiene la luna nella sua orbita è veramente quella stessa che fa cadere i corpi alla superficie della terra, tenendo conto della variazione dell'intensità di questa forza secondo la ragione inversa del quadrato della distanza dal centro della terra. La teoria di Newton spiega d'al-

tronde, senza la menoma difficoltà, perchè i due numeri che abbiamo ottenuti non siano affatto uguali.

294. La forza che agisce sulla luna e che fa cambiare ad ogni istante la grandezza e la direzione della sua velocità nel suo moto intorno alla terra, altro non essendo che la gravità terrestre, devesi conchiuderne che la terra esercita al pari del sole una specie d'attrazione su tutti i corpi che esistono nello spazio, e che l'intensità di quest'attrazione varia in ragione inversa del quadrato della distanza che esiste tra il corpo che vi è soggetto e il centro della terra.

Il sole non deve sfuggire a quest'attrazione della terra; d'altra parte la terra, essendo un pianeta, è attratta dal sole come tutti gli altri pianeti: il sole e la terra attiransi dunque vicendevolmente. L'esistenza dei satelliti che muovonsi intorno a Giove, Saturno, Urano e Nettuno mostra che ognuno di questi pianeti esercita un'attrazione sui corpi che lo circondano; e se ne può anche conchiudere ch'essi debbono attirare il sole, come sono attirati da questo. Appoggiandosi a considerazioni di questa natura, Newton venne condotto ad ammettere che due corpi qualsivogliano, comunque collocati nello spazio, *gravitano* l'uno verso l'altro, vale a dire tendono ad avvicinarsi come se vicendevolmente s'attirassero. Ammise inoltre: 1.° che le forze che si sviluppano per tal modo tra i due corpi sono tra loro uguali, e agiscono in verso contrario secondo la retta che congiunge i due corpi: 2.° che l'intensità di ognuna di queste due forze è proporzionale alle masse dei due corpi, e in ragione inversa del quadrato della distanza che li separa. Tale è il gran principio della *gravitazione universale,* la cui esattezza ricevette dappoi la più ampia e piena conferma, e che condusse ad un gran numero d'importantissimi risultati.

Essendo i corpi celesti formati dalla riunione di un gran numero di molecole materiali, devesi considerare la gravitazione come esistente tra molecola e molecola. Così tutte le molecole della terra attirano a sè una molecola posta vicino alla superficie del globo terrestre; quest'ultima molecola trovasi adunque soggetta all'azione di tante forze quante vi sono molecole nella terra, ed è la risultante di tutte queste forze che costituisce ciò che appellasi il suo peso. Ognuna delle diverse molecole d'uno stesso corpo essendo attirata da tutte le molecole della terra, trovasi quindi nelle stesse condizioni che se fosse soggetta alla forza unica risultante dalla composizione di tutte le forze che le sono realmente applicate. La risultante generale

di tutte le risultanti parziali corrispondenti alle diverse molecole del corpo è ciò che si chiama il peso del corpo; ed è questa risultante generale che determina il moto che prende il corpo quando viene abbandonato a sè stesso, e che nulla s'opponga al suo avvicinarsi alla terra. È lo stesso quanto all'azione esercitata dal sole sopra di un pianeta: ogni molecola del pianeta è insieme attirata da tutte le molecole del sole, e può essere considerata come soggetta alla risultante di tutte queste attrazioni; la risultante generale di tutte le risultanti parziali corrispondenti ad ogni molecola è la forza che ad ogni istante produce i cambiamenti di grandezza e direzione che prova la velocità del pianeta (*).

295. **Perturbazioni del moto dei pianeti.** — Appoggiandosi all'esistenza della gravitazione universale, quale abbiamo fatto conoscere, è facile il formarsi un'idea generale delle circostanze che debbono presentare i moti dei diversi corpi del nostro sistema planetario.

Newton ha trovato che un pianeta attratto verso un punto fisso in ragione inversa del quadrato della distanza che lo separa da questo punto deve descrivere una sezione conica avente questo punto fisso per foco (292). I pianeti non trovansi precisamente in questo caso, giacchè il sole che gli attrae non è fisso nello spazio più che non lo sia ognun d'essi: ma studiando i moti che simultaneamente assumono il sole e un pianeta in conseguenza della mutua loro attrazione, supponendo che essi non siano d'altronde soggetti all'azione di nessun'altra forza, trovasi che ognuno di questi due corpi descrive una sezione conica avente per foco il loro comun centro di gravità; e cercando

(*) Da tutto quanto precede deriva quindi che l'attrazione fra due corpi è tanto maggiore quanto maggiori sono le loro masse, rimanendo essi sempre all'eguale distanza; e che inoltre diverso è l'effetto delle loro masse sul peso con cui essi gravitano l'uno verso l'altro, dall'effetto delle masse medesime sulla velocità di caduta di uno verso l'altro. Questa unicamente dipende dalla massa attraente e nulla da quella attratta; il peso al contrario dipende tanto dalla massa attraente quanto dall'attratta, e cresce proporzionalmente al loro prodotto. Così se crescesse la massa della luna non si altererebbe la sua caduta in un minuto secondo verso la terra; si affretterebbe invece questa caduta se aumentasse la massa della terra. Che se poi diventassero, per esempio, la massa della luna il triplo e la massa della terra il quadruplo delle attuali, e non cambiasse la loro distanza, la quantità d'attrazione che verrebbe a manifestarsi tra i due corpi sarebbe dodici volte maggiore di quella che si manifesta attualmente.

quali apparenze presenterebbe il moto del pianeta ad un osservatore che si trovasse collocato nel sole, e che partecipasse al moto di quest'astro, si riconosce che il pianeta gli apparirebbe descrivere una sezione conica avente il sole per foco: i moti assoluti del sole e del pianeta intorno al loro comune centro di gravità, e il moto relativo del pianeta intorno al sole, considerato come immobile, sono della natura medesima del moto d'un pianeta attratto verso un punto fisso, in ragione inversa del quadrato della distanza da questo punto.

La legge del moto ellittico di ognuno dei pianeti intorno al sole, quale venne stabilita da Keplero, non può evidentemente riferirsi che al moto relativo del pianeta intorno al sole considerato come immobile; e da quanto abbiamo detto questa legge sarebbe pienamente d'accordo col principio della gravitazione universale se il sole ed il pianeta che si considerano non fossero soggetti che alla mutua loro attrazione. Ma veramente non è così. L'esistenza d'un gran numero di pianeti che circolano intorno al sole fa sì che quest'ultimo astro sia attratto insieme da tutti i pianeti, e che ogni pianeta sia parimenti attratto non solamente dal sole, ma ancora da tutti gli altri pianeti. Per ognuno dei corpi del sistema planetario deve risultare adunque un moto molto più complicato di quello di cui abbiamo parlato. L'aver trovato Keplero che ogni pianeta descrive un'ellisse di cui il sole occupa uno dei fochi, dipende da ciò che il moto relativo del pianeta intorno al sole non differisce molto dal moto ellittico: la differenza è fortunatamente così piccola che Keplero potè ritrovare la legge tanto semplice ch'esso fece conoscere: una tal differenza non cessa però dall'esistere, e la legge di Keplero non dev'essere considerata che come una legge d'approssimazione.

296. La piccola differenza che si osserva tra il moto reale d'un pianeta intorno al sole e il suo moto ellittico che avrebbe luogo intorno a quest'astro se tutti gli altri pianeti non esistessero, mostra che le attrazioni ch'esso prova da parte di questi altri pianeti non hanno che pochissima influenza sul suo moto. Tali attrazioni sono pertanto piccolissime rispetto all'attrazione che emana dal sole; e ne risulta necessariamente che le masse dei pianeti sono piccolissime rispetto alla massa del sole.

Considerando ogni pianeta come attratto soltanto dal sole non ci troviamo rigorosamente nella realtà, ma non ce ne allontaniamo troppo quanto al risultato, a cagione della piccolezza delle masse dei pianeti rispetto a quella del sole. Il moto ellit-

tico d'un pianeta intorno al sole, dovuto alla sola attrazione di quest'astro, può essere considerato come una prima approssimazione del moto reale prodotto dall'azione simultanea delle diverse forze che gli sono applicate: le attrazioni che prova il pianeta da parte di tutti gli altri pianeti non fanno che allontanarlo di piccole quantità dal moto ellittico di cui esso sarebbe stato animato senza di ciò; le modificazioni ch'esse producono nel suo moto sono quelle che chiamansi ***perturbazioni*** o ***ineguaglianze***.

Per semplificare lo studio del moto complesso che assume un pianeta sotto l'azione del sole e degli altri pianeti, s'imagina che un pianeta fittizio muovasi, seguendo le leggi del moto ellittico, in un'orbita i cui elementi variano poco a poco e progressivamente, e che il pianeta reale oscilli intorno a questo pianeta fittizio senza giammai allontanarsene molto. I cambiamenti progressivi degli elementi del moto ellittico del pianeta fittizio sono quelli che diconsi le ***ineguaglianze secolari*** del pianeta che si considera; le oscillazioni del pianeta reale intorno al pianeta fittizio sono dovute a quelle che chiamansi le sue ***ineguaglianze periodiche***. Il moto del piano dell'eclittica nello spazio (164) e il cambiamento di posizione del perielio della terra in questo piano (165) sono ineguaglianze secolari del moto della terra che l'osservazione ha fatto conoscere, e de' quali la teoria della gravitazione universale rende conto compiutamente (*).

297. Uno dei più notevoli risultati cui si giunse cercando di determinare le perturbazioni del moto dei pianeti, è che gli assi maggiori delle orbite ellittiche variabili, sulle quali muovonsi i pianeti fittizii di cui abbiamo parlato, conservano costantemente gli stessi valori: le ineguaglianze secolari di ogni pianeta affet-

(*) Sarebbe per altro impossibile il determinare d'un tratto l'effetto dell'azione complessiva perturbatrice esercitata sopra un pianeta da tutti gli altri pianeti. Per determinare una tale azione si ricorre ad un principio di meccanica derivante immediatamente dalle relazioni tra le forze e i moti da esse prodotti, il quale consiste in ciò, che se sopra un sistema materiale vengano ad agire simultaneamente piccolissime forze, l'effetto totale di queste forze combinate non sarà che la somma degli effetti che sarebbero separatamente prodotti dalle singole forze, ritenuto per altro che per le loro azioni non vengano sensibilmente alterate le originarie relazioni delle parti costituenti il sistema. Appoggiandosi a questo principio, ed attesa l'estrema piccolezza delle forze perturbatrici e degli effetti da esse prodotti, si calcolano separatamente le perturbazioni generate dai diversi pianeti, ed è dalla somma di queste perturbazioni che risultano le ***ineguaglianze periodiche***

tano tutti gli elementi del suo moto ellittico ad eccezione dell'asse maggiore dell'ellisse, che rimane sempre lo stesso. La durata della rivoluzione d'un pianeta intorno al sole è collegata colla lunghezza dell'asse maggiore della sua orbita mediante la terza legge di Keplero; l'invariabilità dell'asse maggiore trae seco adunque nel tempo stesso l'invariabilità della durata della sua rivoluzione.

Le eccentricità delle orbite dei diversi pianeti, e le inclinazioni dei loro piani al piano fisso col quale coincideva il piano dell'eclittica ad un'epoca determinata, assumono poco a poco valori differenti da quelli ch'essi aveano dapprima. Ma si è riconosciuto che le variazioni di questi elementi, quantunque si compiano nello stesso verso per ognuno di essi durante un gran numero di secoli, sono però tutte periodiche: ognuno di questi elementi, dopo essere continuamente aumentato, ovvero continuamente diminuito per un certo tempo, varierà in appresso in verso contrario, avvicinandosi così al suo primitivo valore. Fu dimostrato che queste eccentricità e queste inclinazioni, le quali hanno attualmente piccoli valori, rimarranno sempre piccole, in guisa che non faranno che oscillare entro limiti ristretti.

Nell'insieme dei risultati che abbiamo indicati, e che risguardano gli assi maggiori, le eccentricità e le inclinazioni delle orbite ellittiche dei pianeti, si fa consistere appunto la *stabilità del sistema del mondo* quale venne dedotta dai geometri. Vedesi infatti seguirne necessariamente che le orbite dei pianeti conserveranno sempre press'a poco le stesse dimensioni e le stesse posizioni relative intorno al sole.

298. **Masse dei pianeti.** — La teoria della gravitazione universale potè guidare alla cognizione delle masse dei diversi corpi che compongono il nostro sistema planetario, seguendo la serie di considerazioni che ora verremo esponendo.

Cominciamo dalla terra, e cerchiamo di calcolare il rapporto della sua massa alla massa del sole. Se noi potessimo trovare le grandezze delle attrazioni che il sole e la terra esercitano sull'unità di massa d'un corpo ed alla medesima distanza, è chiaro che nel rapporto di queste attrazioni avremmo precisamente quello delle masse del sole e della terra. Ora noi sappiamo che la velocità acquistata da un corpo dopo un secondo di caduta alla superficie della terra è di $9^m,8088$ per secondo; il numero 9,8088 serve dunque di misura all'attrazione della terra sull'unità di massa d'un corpo che trovasi vicino alla sua superficie.

Se il corpo si trovasse ad una distanza 23 984 volte maggiore dal centro della terra, vale a dire alla distanza che separa la terra dal centro del sole (148), l'attrazione che la terra eserciterebbe sull'unità di massa di questo corpo sarebbe uguale a 9,8088 diviso pel quadrato di 23 984; essa sarebbe adunque rappresentata dal numero 0,000 000 017 051 8. Ma per mezzo del moto della terra intorno al sole possiamo altresì trovare la grandezza dell'attrazione che il sole esercita sull'unità di massa posta alla stessa distanza della terra dal centro del sole. Osserviamo che la circonferenza dell'orbita della terra supposta circolare è 23 984 volte maggiore della circonferenza della terra, che è di 40 milioni di metri; dividiamo la lunghezza della circonferenza di quest'orbita pel numero di secondi contenuti nell'anno sidereo (187), e troveremo la velocità della terra, che è di 30 599^{m},75 per secondo (*); dividiamo infine il quadrato di questa velocità della terra pel raggio dell'orbita terrestre, ovvero per 23 984 volte il raggio della terra, ed avremo la misura dell'attrazione esercitata dal sole sull'unità di massa della terra (290): trovasi così 0,006 052 55 per la misura di quest'attrazione. Pertanto le attrazioni esercitate dal sole e dalla terra sull'unità di massa d'un corpo posto alla distanza che separa la terra dal centro del sole sono rappresentate, la prima dal numero 0,006 052 55 e la seconda dal numero 0,000 000 017 051 8: il rapporto di questi due numeri, che è uguale a 354 936, sarà il rapporto della massa del sole a quella della terra. Se ne conchiude adunque che la massa del sole è uguale a 354 936 volte quella della terra, ovvero anche, che se si rappresenta la massa del sole con 1, la massa della terra sarà rappresentata dalla frazione $\frac{1}{354936}$.

Mediante la considerazione del moto di uno dei satelliti di Giove intorno a questo pianeta si può trovare la misura dell'attrazione che il pianeta esercita sull'unità di massa di questo satellite; operando al modo che già abbiamo fatto si può dedurne la misura dell'attrazione di Giove sull'unità di massa di un corpo posto ad una distanza dal suo centro uguale alla distanza della terra dal centro del sole; confrontando quindi quest'attrazione con quella che il sole esercita sull'unità di massa della terra, e che abbiamo calcolato, se ne conchiude il rapporto della massa di Giove alla massa del sole. Lo stesso andamento si può seguire per determinare le masse di Saturno, d'Urano, di Nettuno.

Quanto ai pianeti, come Mercurio, Venere e Marte, i quali non hanno satelliti, non si possono determinare i rapporti delle

(*) Vedi la nota a pag. 363.

loro masse alla massa del sole seguendo l'indicato andamento. Si ebbe quindi ricorso alle perturbazioni che ognuno di questi pianeti produce sugli altri corpi del sistema planetario; la grandezza delle perturbazioni che produce un pianeta dipende infatti dal rapporto che esiste tra la sua massa e quella del sole, e si comprende che se queste perturbazioni furono direttamente misurate mediante l'osservazione delle successive posizioni degli astri che le provarono, si può dedurre il valore della massa del pianeta che le ha prodotte.

Impiegando i diversi metodi indicati si trovarono i seguenti valori per le masse dei pianeti principali, valutate assumendo la massa del sole per unità:

NOMI DEI PIANETI	MASSE	NOMI DEI PIANETI	MASSE
Mercurio . . .	$\frac{1}{2\,023\,810}$ (*)	Giove	$\frac{1}{1\,050}$
Venere	$\frac{1}{401\,841}$	Saturno	$\frac{1}{3\,500}$
La Terra . . .	$\frac{1}{334\,936}$	Urano	$\frac{1}{24\,000}$
Marte	$\frac{1}{2\,680\,337}$	Nettuno	$\frac{1}{14\,446}$

Nulla si sa relativamente alle masse dei diversi pianeti compresi tra Marte e Giove, se non che queste masse sono piccolissime.

La massa della luna è $\frac{1}{81}$ di quella della terra.

Quanto alle comete, in molte circostanze si potè assicurarsi che le loro masse sono piccolissime rapporto alle masse dei pianeti. Il loro moto è bene spesso considerevolmente turbato dall'azione che provano da parte dei pianeti in vicinanza dei quali vengono a passare; se le loro masse non fossero piccolissime relativamente a quelle di questi pianeti, esse produrrebbero nello stesso tempo sensibili modificazioni nel moto di quest'ultimi astri: ora nulla si è mai ritrovato nel moto dei pianeti che potesse venire attribuito all'azione perturbatrice delle comete. Accadde pur anco che una cometa ebbe ad attraversare il sistema dei satelliti di Giove senza che i moti di questi satelliti siano stati in guisa alcuna turbati (**).

(*) Vedi la nota a pag. 596.

(**) Vedi la nota a pag. 602.

299. Gravità alla superficie del sole e dei pianeti. — L'attrazione che esercitano il sole e i pianeti su tutti i corpi che li circondano deve esercitarsi in particolar modo sui corpi posti vicino alla loro superficie, e ne debbono risultare dei fenomeni analoghi a quelli che produce la gravità alla superficie della terra. I corpi che verrebbero abbandonati a sè stessi in vicinanza della superficie del sole cadrebbero su questa su erficie; e se fossero impediti da ostacoli nella loro caduta, eserciterebbero pressioni su questi ostacoli: lo stesso sarebbe pei corpi situati in vicinanza alla superficie d'un pianeta qualunque. Ma questa gravità alla superficie dei pianeti e del sole non si esercita sopra ognuno di essi colla stessa intensità; essa dipende insieme dalla massa del globo sulla cui superficie la si considera, e dal raggio di questo globo, vale a dire dalla distanza che separa la superficie dal punto centrale in cui tutta la massa si potrebbe ritenere concentrata, senza che l'attrazione totale da essa prodotta venga sensibilmente alterata. Non è difficile calcolare l'intensità della gravità alla superficie del sole o di un pianeta, tenendo conto dei due elementi dei quali abbiamo parlato. Facciamo questo calcolo pel sole.

Se con 1 viene rappresentata l'intensità della gravità sulla terra, quella che esiste sulla superficie del sole sarebbe rappresentata da 354 936, qualora il raggio del sole fosse uguale a quello della terra; ma essendo il raggio del sole 112 volte più grande di quello della terra (150), l'attrazione esercitata dal sole sulla sua superficie dev'essere 12 544 volte più piccola di quella che sarebbe se il suo raggio fosse uguale a quello della terra (12 544 è il quadrato di 112). Dividendo 354 936 per 12 544, si trova 28,30, che è la misura dell'intensità della gravità alla superficie del sole: questa intensità è quindi più che 28 volte maggiore di quella della gravità sulla terra.

Per formarsi una giusta idea di ciò che vale a significare questo risultato possiamo imaginare che si faccia uso d'un apparato a molla, analogo a quelli cui spesso si ricorre per pesare i corpi: un tale apparato essendo graduato, basta sospendere un corpo all'uncino di cui è munito, e dalla posizione che assume un indice o una lancetta mobile lungo la graduazione si ha immediatamente l'indicazione del peso del corpo. Supponiamo dunque che si sospenda a questo apparato un corpo pesante un chilogrammo, l'indice si fermerà sulla graduazione alla divisione che corrisponde ad un chilogrammo: se questo medesimo apparato, sul quale sia collocato il medesimo corpo, fosse situato vicino alla superficie

del sole, la molla si troverebbe tesa molto più che non sulla terra, e l'indice si arresterebbe alla divisione corrispondente a chilogrammi 28,3.

Ciò che abbiamo detto risguardante la gravità sulla superficie del sole possiamo evidentemente ripeterlo senza la menoma difficoltà pei diversi pianeti e per la luna. Il quadro seguente contiene i risultati ai quali si giunge per tal modo (*):

NOMI dei corpi celesti.	GRAVITA' alla superficie.	CADUTA in 1'' alla superf.	NOMI dei corpi celesti.	GRAVITA' alla superficie.	CADUTA in 1'' alla superf.
		m			m
Sole....	28,30	138,80	Giove...	2,45	12,02
Mercurio.	1,15	5,64	Saturno .	1,09	5,35
Venere..	0,91	4,46	Urano ..	1,05	5,15
La Terra.	1,00	4,90	Nettuno .	1,10	5,39
Marte...	0,50	2,45	Luna ...	0,16	0,78

300. Perturbazioni del moto della luna. — Il moto di rivoluzione della luna intorno alla terra è dovuto all'attrazione che la terra esercita sulla luna. L'orbita della luna sarebbe un'ellisse avente la terra per foco, e quest'orbita sarebbe descritta conformemente alla legge delle aree se la terra e la luna esistessero sole nello spazio. Per l'esistenza degli altri corpi del sistema planetario, e sopra tutto del sole, la cosa è ben lungi dall'essere così; la luna prova nel suo moto delle perturbazioni considerevoli e molto più grandi di quelle che provano i pianeti. La luna è incomparabilmente più vicina alla terra del sole, per modo che se la massa del sole fosse poco diversa da quella della terra, essa non produrrebbe nel moto della luna che delle ineguaglianze appena sensibili; ma la massa del sole è tanto grande rispetto a quella della terra che la sua azione perturbatrice sulla luna produce importantissime modificazioni nel moto di questo satellite. Così il calcolo di tutte le ineguaglianze del moto della luna, le quali non sono tanto piccole da poter essere trascurate, costituisce la quistione la più complicata dell'astronomia matematica.

(*) A dare un'idea più chiara dell'intensità della gravità alla superficie del sole, dei diversi pianeti e della luna, abbiamo creduto opportuno aggiungere lo spazio, espresso in metri, che un corpo liberamente cadente, descriverebbe nel primo minuto secondo di caduta alla superficie di ognuno di essi.

Vediamo adesso alcuni esempi delle ineguaglianze che l'azione del sole determina nel moto della luna; ma per ciò è d'uopo che da prima ci formiamo un'idea netta del modo onde ha luogo l'azione del sole nel produrre cotali ineguaglianze.

Ad ogni istante la terra e la luna, attratte ambedue dal sole, cadono l'una e l'altra verso quest'astro centrale: i particolari nei quali siamo precedentemente entrati (290) spiegano bastantemente ciò che devesi intendere per questa caduta della terra e della luna verso il sole. Se le attrazioni del sole sull'unità di massa della terra e sull'unità di massa della luna fossero uguali ed avessero direzioni parallele, la caduta dei due corpi verso il sole avverrebbe esattamente allo stesso modo, e non ne deriverebbe alcun cambiamento nelle posizioni relative della luna e della terra; per cui la luna occuperebbe successivamente rispetto alla terra le medesime posizioni come nel caso che il sole non esercitasse la sua attrazione sopra alcuno dei due corpi. Ma al contrario l'attrazione del sole sull'unità di massa della luna ora è più grande, ora più piccola dell'attrazione che esercita sull'unità di massa della terra, secondo che la distanza che lo separa dalla luna è minore o maggiore di quella che esiste tra esso e la terra; inoltre queste attrazioni non agiscono secondo le stesse precise direzioni, poichè tali direzioni passano sempre pel centro del sole, e non v'è eccezione che pel caso in cui la luna è in opposizione o in congiunzione, nel qual caso le direzioni delle forze che tendono ad avvicinare la terra e la luna al sole confondonsi in una sola. Questa differenza in grandezza e in direzione delle azioni esercitate dal sole sulle unità di massa della terra e della luna deve dunque produrre certe modificazioni nelle posizioni che la luna occupa successivamente rispetto alla terra. Per giungere alla cognizione di queste modificazioni basterà seguire quel modo stesso di ragionamento che teniamo tutte le volte che ne occorre di studiare il moto relativo d'un corpo rispetto ad un altro corpo il quale trovisi esso medesimo in moto.

Imagineremo adunque d'attribuire all'insieme della terra e della luna un moto comune uguale e contrario al moto che possiede realmente la terra intorno al sole; le posizioni relative della luna e della terra non saranno per nulla alterate dall'esistenza di questo moto comune, ma ne risulterà che la terra sarà considerata come in quiete, e il moto totale onde la luna si troverà così animata sarà precisamente il moto che noi cerchiamo di studiare, vale a dire il moto relativo della luna intorno alla terra. Ora, attribuire all'insieme della terra e della luna un moto comu-

ne, uguale e contrario al moto reale della terra, torna lo stesso che applicare ad ogni unità di massa di ognuno di questi due corpi una forza uguale, parallela e agente in verso contrario all'attrazione che il sole esercita sull'unità di massa della terra. Si può dire adunque che il moto relativo della luna intorno alla terra è dovuto all'azione simultanea di tre forze, cioè: 1.° l'attrazione che la luna prova da parte della terra; 2.° quella ch'essa prova da parte del sole; 3.° una forza che per ogni unità di massa della luna è uguale, parallela e agente in verso contrario all'attrazione del sole sull'unità di massa della terra. Se il moto relativo della luna intorno alla terra fosse unicamente dovuto alla prima di queste tre forze, esso avrebbe luogo conformemente alle prime due leggi trovate da Keplero pel moto dei pianeti intorno al sole; le due ultime forze tendono a rendere questo moto diverso da ciò che sarebbe se la prima agisse da sola: la risultante di queste due ultime forze costituisce adunque la forza perturbatrice dovuta alla presenza del sole, vale a dire la forza che produce tutte le perturbazioni del moto della luna cagionate da quest'astro.

301. Passiamo ora all'esame di alcuni degli effetti prodotti dalla forza perturbatrice di cui abbiamo parlato.

Quando la luna è in congiunzione, essa è più vicina al sole che la terra, e per conseguenza l'unità di massa della luna è più fortemente attratta dal sole che l'unità di massa della terra. Per avere la forza perturbatrice in questo istante è d'uopo, come abbiamo detto, cercare la risultante dell'attrazione esercitata dal sole sulla luna, e d'una forza la quale, per ciascuna unità di massa della luna, è uguale, parallela e agente in verso contrario all'attrazione del sole sull'unità di massa della terra: la prima di queste due componenti è diretta dalla luna verso il sole; la seconda componente è minore della prima, ed è anche direttamente opposta ad essa a cagione della particolare posizione che supponiamo nella luna: la risultante di queste due forze è dunque uguale all'eccesso della prima sulla seconda, ed agisce nel verso della prima, vale a dire tende ad allontanare la luna dalla terra.

Quando la luna è in opposizione, essa è più lontana dal sole che la terra, e per conseguenza l'attrazione ch'essa prova da parte del sole è minore di quella che, a massa eguale, proverebbe la terra: la forza che dobbiamo comporre coll'attrazione del sole sulla luna per avere la forza perturbatrice è dunque maggiore di quest'attrazione, ed è ancora direttamente op-

posta ad essa; e ne risulta che, anche in questa posizione della luna, la forza perturbatrice tende ad allontanarla dalla terra.

Alle epoche delle quadrature, essendo la terra e la luna sensibilmente alla stessa distanza dal sole, le due componenti della forza perturbatrice hanno lo stesso valore; e siccome esse sono ancora press'a poco direttamente opposte l'una all'altra, a cagione della gran distanza del sole, ne segue che la forza perturbatrice è piccolissima relativamente a ciò ch'essa è alle epoche delle sizigie.

Da ciò si vede che per termine medio la forza perturbatrice dovuta alla presenza del sole tende ad allontanare la luna dalla terra; pertanto il sole mantiene la luna ad una distanza dalla terra maggiore di quella cui essa si troverebbe senza l'azione di quest'astro. Si comprende per altro che quest'azione del sole sulla luna deve manifestarsi con maggiore o minore energia secondo che il sole è più o meno vicino alla terra ed alla luna: quando il sole è al suo perigeo esso deve mantenere la luna a una maggiore distanza dalla terra che quando è al suo apogeo. L'orbita della luna deve dunque ristringersi poco a poco durante tutto il tempo che il sole impiega a passare dal suo perigeo al suo apogeo, per allargarsi in appresso mentre il sole ritorna dal suo apogeo al suo perigeo.

Queste alternative d'aumento e diminuzione nella distanza media della luna dalla terra producono dei cangiamenti analoghi nella durata della sua rivoluzione siderea. La terza legge di Keplero, la quale conviene ai satelliti al pari che ai pianeti, mostra infatti che minore è la distanza media d'un satellite dal suo pianeta, e minor tempo esso impiega a compiere un intiero giro intorno a questo pianeta. La durata della rivoluzione della luna intorno alla terra deve adunque diminuire quando la sua orbita si ristringe, e aumentare al contrario quando la sua orbita si allarga; questa durata dev'essere quindi al suo massimo quando il sole è al suo perigeo, vale a dire verso il 1.° gennajo, ed al suo minimo sei mesi dopo, cioè verso il 1.° luglio.

Questo cangiamento periodico nella durata della rivoluzione della luna è una delle ineguaglianze che l'osservazione ha fatto conoscere prima che alcuna considerazione teorica ne abbia potuto indicare l'esistenza, ed è l'ineguaglianza conosciuta sotto il nome d'*equazione annua*, la cui scoperta è dovuta a Tycho-Brahé (214). In virtù di questa ineguaglianza, calcolando per un anno qualunque la durata della rivoluzione siderea della luna che ha luogo verso il 1.° gennajo, e quella che ha luogo

verso il 1.° luglio, si trova che il valore della prima sorpassa di più di un quarto d'ora il valore della seconda.

302. Abbiamo detto (210) che la durata della rivoluzione siderea della luna diminuisce a poco a poco dall'epoca delle più antiche osservazioni: la teoria della gravitazione universale ha assegnata la causa di questa continua accelerazione del moto medio della luna, ed ecco in che cosa consiste.

Abbiamo veduto or ora che in ogni anno il moto medio della luna accelera o rallenta secondo che il sole s'allontana dalla terra o vi si avvicina. Se l'orbita che descrive la terra intorno al sole si conservasse sempre la medesima, è chiaro che il moto medio della luna riprenderebbe alla fine d'ogni anno esattamente il valore che aveva al principio dell'anno medesimo, per modo che alla fine d'un numero qualunque di anni esso si troverebbe sempre uguale a quello che era da principio. Sebbene l'asse maggiore dell'orbita della terra non varii (297), lo stesso non succede della sua eccentricità, la quale di secolo in secolo assume valori ognora più piccoli; ed il cambiamento di forma che ne risulta per l'orbita della terra fa sì, che la quantità onde la distanza della luna dalla terra viene aumentata per termine medio dall'azione perturbatrice del sole, non sia la stessa d'un anno all'altro: a pari grandezza dell'asse maggiore dell'orbita terrestre il sole mantiene la luna ad una distanza dalla terra tanto più grande quanto maggiore è il valore dell'eccentricità di quest'orbita. La continua diminuzione di questa eccentricità trae dunque seco una corrispondente diminuzione nella media distanza della luna dalla terra, e per conseguenza una diminuzione nella durata della sua rivoluzione siderea. Il calcolo ha dimostrato che l'accelerazione del moto medio della luna, prodotta, come abbiamo detto, dalla variazione secolare dell'eccentricità dell'orbita terrestre, ha precisamente quello stesso valore che venne indicato dall'osservazione nel moto del nostro satellite.

La progressiva diminuzione dell'eccentricità dell'orbita della terra non deve continuare indefinitamente; ma, come abbiamo già detto (297), le ineguaglianze secolari delle eccentricità dei pianeti sono periodiche; l'eccentricità quindi della terra, dopo essere ancora diminuita per un certo numero di secoli, aumenterà in appresso per lungo tempo, per diminuire poi ancora ad epoca più lontana, e così di seguito. Il moto medio della luna non accelererà dunque sempre, ma comincerà a rallentare quando l'eccentricità dell'orbita terrestre cesserà dal diminuire per entrare nel suo periodo d'incremento; accelererà poi di nuovo più tardi

quando l'eccentricità della terra ricomincierà a decrescere; e così di seguito.

303. Possiamo anche facilmente renderci conto del modo ond'è prodotta la retrogradazione dei nodi dell'orbita della luna (208) per l'azione perturbatrice del sole.

Sieno S il sole (fig. 368), T la terra, E E il piano dell'eclittica, ed N L N' L' l'orbita della luna, che taglia il piano dell'eclit-

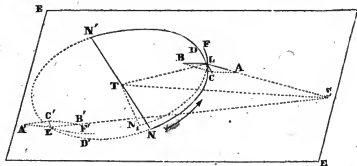



Fig. 368.

tica secondo la linea dei nodi N N'. Consideriamo la luna in un punto L di quella parte della sua orbita che trovasi più vicina al sole. Rappresentiamo l'attrazione del sole sulla luna colla retta L A; la forza che per ogni unità di massa è uguale, parallela e agente in verso contrario all'attrazione del sole sull'unità di massa della terra, sia rappresentata dalla retta L B parallela a S T e alquanto minore di L A, poichè la terra è qui supposta più lontana che la luna dal sole: la forza perturbatrice, che è la risultante delle forze L A ed L B, sarà dunque rappresentata dalla diagonale L C del parallelogrammo L A C B, e vedesi chiaramente che essa tende ad avvicinare la luna al piano dell'eclittica. Per l'azione di questa forza la luna non può rimanere nel piano condotto per la terra T e per l'arco ch'essa ha percorso prima di giungere in L; ed in luogo di descrivere l'arco L D situato in questo piano, essa descrive un arco L F compreso tra l'arco L D e il piano dell'eclittica. Tutto dunque avviene come se il piano N L T, nel quale muovevasi la luna prima di giungere in L, ruotasse intorno alla retta L T per assumere la posizione N_1 L T; e ne risulta che, in conseguenza dell'azione della forza perturbatrice L C, la linea dei nodi N T assume la posizione N_1 T: questa linea ha dunque ruotato intorno alla terra nel piano dell'eclit-

tica in verso contrario a quello secondo cui la luna si muove, vale a dire essa è retrogradata.

Parimenti se consideriamo la luna in L′, nella parte della sua orbita che trovasi più lontana dal sole, giungeremo al medesimo risultato. Siano perciò L′ B′ ed L′A′ le due componenti della forza perturbatrice, la seconda essendo alquanto maggiore della prima, giacchè la terra è supposta più vicina al sole della luna: per l'azione della risultante L′ C′ di queste due forze, risultante che tende ancora ad avvicinare la luna al piano dell'eclittica, questa descrive l'arco L′ F′ compreso tra questo piano e l'arco L′ D′ ch'essa avrebbe descritto se la forza perturbatrice non avesse agito. È facile il vedere che ne risulta ancora uno spostamento nella linea dei nodi intorno alla terra e con direzione retrograda.

Così quando la luna trovasi nella parte della sua orbita che è la più vicina al sole, ovvero nella parte che ne è la più lontana, vale a dire quand'essa è nelle posizioni cui corrisponde la maggiore intensità della forza perturbatrice, l'azione di questa forza produce sempre una retrogradazione dei nodi: i nodi pertanto debbono definitivamente retrogradare d'una certa quantità ad ogni rivoluzione della luna intorno alla terra. È d'uopo poi anche aggiungere che se, mediante queste considerazioni, si può comprendere in qual modo l'azione perturbatrice del sole determini la retrogradazione dei nodi della luna, la velocità di questo moto retrogrado, quale risulta dall' azione calcolata del sole, corrisponde esattamente a quella che viene somministrata dall'osservazione del fenomeno.

Dal cambiamento poi di posizione della luna rispetto al sole, mentre percorre la sua orbita intorno alla terra, deriva che i nodi non si spostino sempre colla stessa velocità, e che il loro moto retrogrado sia più o meno rapido alle diverse epoche di ciascuna rivoluzione della luna. Nello stesso tempo, quantunque per termine medio l'azione perturbatrice del sole non faccia variare l'inclinazione dell'orbita della luna sull'eclittica, essa produce però una periodica alterazione in questa inclinazione. Questi due effetti dell'azione perturbatrice del sole costituiscono la nutazione dell'orbita lunare, della quale abbiamo parlato precedentemente (209).

504. **Causa della precessione degli equinozii e della nutazione dell'asse della terra. —** Si dimostra in meccanica che se un corpo solido affatto libero ruota intorno ad una retta posta sempre alla stessa maniera nel suo interno, quest'asse di rotazione

deve pur conservare costantemente la stessa direzione nello spazio, eccetto che il corpo non sia sottomesso all'azione di qualche forza che tenda a produrre qualche cambiamento in questa direzione. Ora è noto che l'asse di rotazione della terra passa sempre pei medesimi punti della sua massa; poichè se fosse altrimenti, se cioè i poli della terra si spostassero sulla superficie del globo, ne risulterebbero dei cambiamenti nei valori delle latitudini geografiche dei diversi luoghi, cambiamenti che sarebbero messi in evidenza nelle misure di queste latitudini fatte ad epoche diverse; e non avendo mai l'osservazione indicata la menoma variazione nella latitudine di qualsivoglia luogo della terra, se ne conchiude necessariamente che la linea dei poli non cambia di posizione nell'interno del globo terrestre. Ne consegue pertanto che l'asse del mondo non dovrebbe cambiare direzione nello spazio, e che sempre dovrebbe passare pei medesimi punti del cielo, qualora alcuna forza non agisca sulla terra per modo di distruggere questa invariabilità di direzione del suo asse di rotazione. I fenomeni della precessione degli equinozii e della nutazione dell'asse della terra, che abbiamo precedentemente descritti (161 e 172), debbono adunque dipendere dall'azione di certe forze perturbatrici, le quali tendono continuamente a modificare la rotazione della terra, cambiando la direzione dell'asse intorno al quale si compie questa rotazione.

Si è riconosciuto che la cagione di questo cambiamento di direzione dell'asse della terra sta nel suo schiacciamento. Se la terra fosse esattamente sferica, e la materia ond'essa è formata fosse regolarmente distribuita intorno al suo centro, è chiaro che le azioni esercitate da un astro qualunque, dal sole, per esempio, sulle sue diverse molecole, si comporrebbero sempre in un'unica forza passante pel suo centro, e che questa forza risultante non farebbe che modificare ad ogni istante il moto del centro della terra nello spazio, senza esercitare alcuna influenza sulla sua rotazione intorno a questo punto. Per il difetto di sfericità nella terra i diversi fenomeni non avvengono precisamente al modo che abbiamo spiegato (*).

(*) Newton giunse a dimostrare che le azioni attrattive di un corpo sopra un sistema di punti materiali uniformemente distribuiti sopra una intiera superficie sferica si compongono in un'unica risultante passante pel centro della sfera, nel quale si possono supporre compenetrati tutti questi punti materiali. Parimenti le azioni attrattive d'un corpo sopra più sistemi di punti materiali, tutti distribuiti uniformemente sopra più superficie sferiche concentriche, si compongono ancora in un'unica ri-

Il globo terrestre, a cagione del suo schiacciamento, può essere considerato come una sfera ricoperta di un rigonfiamento stendentesi lungo tutto l'equatore, e che vada man mano assottigliandosi dall'una e dall'altra parte di questo circolo massimo fino a ridursi ad uno spessore nullo vicino ai due poli P, P' (fig. 369). Se in

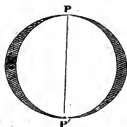



Fig. 369.

questo rigonfiamento si considera una piccola massa M situata, per esempio, in vicinanza dell'equatore, vedesi che questa massa, partecipando al moto di rotazione della terra, descrive una circonferenza di circolo intorno all'asse P P', tanto che si può paragonarla, fino ad un certo punto, ad un satellite della terra che si muova nel piano dell'equatore terrestre. Il sole, agendo su questo satellite, la cui orbita è inclinata al piano dell'eclittica, deve produrre una retrogradazione de' nodi di quest' orbita, come ha luogo per la luna (303). Qualunque altra massa presa nel rigonfiamento di cui abbiamo parlato, e considerata pure come un satellite della terra, prove-

sultante passante pel centro comune di queste sfere, nel quale si possono ritenere compenetrati tutti questi punti. E siccome una sfera omogenea si può considerare come costituita dall'insieme di tante superficie sferiche tutte fra loro concentriche, sulle quali trovinsi uniformemente distribuiti altrettanti sistemi di punti materiali, così le azioni attrattive di un corpo sopra i diversi punti materiali di una sfera omogenea si compongono ancora in un'unica risultante passante pel centro di questa sfera, nel quale devesi considerare tutta raccolta la massa della sfera medesima.

Analogamente poi le diverse azioni attrattive dei punti materiali costituenti una sfera omogenea sopra qualsiasi corpo si compongono in una unica risultante passante pel centro di quella sfera, ove devesi ritenere compenetrata tutta la sua massa; per cui l'azione attrattiva d'una massa sferica omogenea sopra di un corpo è quella stessa esercitata dal centro di quella sfera su questo corpo, ritenuto che in quel centro sia compenetrata tutta la massa della sfera.

Da ciò deriva finalmente che alle reciproche attrazioni di due sfere omogenee si possono sostituire le reciproche attrazioni dei centri di esse sfere, supponendo in ciascun centro compenetrata tutta la massa della sfera corrispondente.

Questo principio riesce importantissimo nella meccanica celeste, giacchè per una prima approssimazione tutti i corpi costituenti il nostro sistema planetario, attesa la loro quasi sfericità, si possono considerare come altrettanti punti materiali, in ognuno dei quali trovisi raccolta tutta la massa di cui è costituito il corpo corrispondente.

rebbe evidentemente da parte del sole un effetto analogo a quello che abbiamo indicato per la piccola massa M; per cui l'intersezione del piano della sua orbita col piano dell'eclittica cambierebbe del pari progressivamente di direzione in quest'ultimo piano ruotando con moto retrogrado.

Quel rigonfiamento pertanto si può considerare come costituito da diverse masse fra loro collegate in modo da formare un tutto solido; e la retrogradazione che proverebbe la linea dei nodi corrispondente ad ognuna di queste masse, qualora fossero fra loro indipendenti, deve ancora verificarsi colla loro unione; per cui tutto il rigonfiamento considerato da solo, indipendentemente dalla massa sferica che è nel suo interno, deve presentare nel suo moto di rotazione intorno a P P′ un fenomeno analogo alla retrogradazione dei nodi delle orbite circolari delle sue diverse parti: e quindi l'intersezione del piano dell'equatore di questo rigonfiamento col piano dell'eclittica deve retrogradare in quest'ultimo piano. Imaginando in fine che il rigonfiamento sia invariabilmente unito colla massa sferica da esso avviluppata, vedesi che tenderà necessariamente a trarla seco nel suo moto retrogrado; e soltanto la velocità di questo moto sarà molto diminuita dall'aggiunta di questo nucleo sferico, la cui massa è grandissima in confronto a quella del rigonfiamento. Viene con ciò a spiegarsi come per l'azione del sole sulle diverse parti del rigonfiamento che presenta la terra lungo tutto l'equatore, e che stendesi dall'una e dall'altra parte di questo circolo massimo, andando mano mano assottigliandosi, si produca un moto retrogrado nell'intersezione del piano dell'equatore col piano dell'eclittica, vale a dire nella linea degli equinozii: questo moto è precisamente quello che abbiamo precedentemente studiato sotto il nome di precessione degli equinozii, e che l'osservazione ha svelato agli astronomi molto tempo prima che se ne fosse potuto assegnare la cagione.

La luna, agendo, come il sole, sulle diverse parti del rigonfiamento equatoriale della terra, tende a produrre un effetto analogo; ma il cambiamento alquanto rapido nella posizione del piano della sua orbita rispetto al piano dell'eclittica fa sì che il risultato della sua azione sulla parte sporgente del globo terrestre non segua le stesse leggi che il risultato dell'azione del sole. Mentre il sole determina un moto continuato e retrogrado degli equinozii, senza che venga a cambiarsi l'angolo compreso tra l'equatore terrestre e l'eclittica, la luna al contrario comunica agli equinozii un moto periodico, e fa variare nello stesso

tempo periodicamente l'obbliquità dell'equatore sull'eclittica: i periodi di questo moto degli equinozii e della variazione dell'obbliquità dell'eclittica sono d'altronde gli stessi, ed ognuno d'essi è uguale alla durata della rivoluzione siderea dei nodi dell'orbita lunare, vale a dire all'intervallo di tempo che l'orbita della luna, partendo da una posizione qualunque, impiega a ritornarvi. In una parola, mentre il sole, agendo sulla parte sporgente della terra, produce la precessione degli equinozii, la luna, mediante un'azione analoga, genera la nutazione dell'asse della terra (*).

(*) A meglio comprendere come la precessione degli equinozii e la nutazione sieno due fenomeni intimamente collegati fra loro basta riflettere che se, per l'effetto dell'attrazione solare sulla parte sporgente dell'equatore terrestre, si produce una retrogradazione nell'intersezione dell'equatore terrestre coll'eclittica, per l'attrazione della luna devono del pari retrogradare i nodi dell'equatore terrestre sul piano dell'orbita lunare. Ma, ritenendo anche sensibilmente invariabile l'inclinazione dell'orbita lunare sull'eclittica, siccome i nodi di quest'orbita sono anch'essi dotati d'un rapido moto di retrogradazione, così dall'azione della luna sulla parte sporgente della terra, combinata col moto del piano dell'orbita lunare, ne derivano: 1.° un moto medio negli equinozii eguale a quello che produrrebbe la luna se essa si muovesse nel piano medesimo dell'eclittica; 2.° un'ineguaglianza in questo moto retrogrado; 3.° una variazione nell'obbliquità dell'eclittica. Queste due ineguaglianze sono insieme rappresentate dal moto dell'estremità dell'asse terrestre prolungato fino al cielo su di una piccola ellisse, vale a dire costituiscono la *nutazione;* mentre la prima parte dell'effetto, combinandosi colla retrogradazione de'nodi prodotta dall'azione solare, costituisce insieme a questa la *precessione*, la quale perciò dicesi *precessione luni-solare*. Vedesi pertanto che la nutazione dell'asse terrestre è unicamente dovuta all'azione della luna, mentre la media precessione degli equinozii è il risultato delle azioni riunite della luna e del sole. Conoscendosi poi, mediante le osservazioni, le quantità rappresentanti i due fenomeni, si possono separare gli effetti delle azioni dovute al sole ed alla luna, e con ciò si trova che l'azione della luna è, secondo Laplace, poco più del doppio di quella del sole, sebbene una piccola differenza nella grandezza della nutazione ne produca una considerevole nel rapporto delle azioni dei due astri. E riconosciuta poi la quantità d'azione della luna in confronto di quella del sole, s'intende pure come riesca facile la determinazione della massa della luna in confronto di quella del sole, e quindi in confronto di quella della terra. (Vedi § 298.)

Dalla quantità della nutazione s'arriva altresì a determinare, entro certi limiti, lo schiacciamento dello sferoide terrestre: i risultati si accordano perfettamente con quelli che si ottengono e dalla diretta misurazione dei gradi di meridiano e dalle esperienze col pendolo.

305. Causa dello schiacciamento della terra. — I fenomeni geologici c'inducono a credere che la terra fosse primitivamente fluida, e che soltanto pel raffreddamento venne a solidificarsi la sua superficie. Mediante questa primitiva fluidità della terra, combinata col suo moto di rotazione sopra sè stessa, possiamo facilmente spiegare la forma leggermente schiacciata che presenta la sua superficie.

Una massa fluida, le cui diverse parti si attirino fra loro, tende naturalmente ad assumere la forma d'una sfera, in virtù delle mutue attrazioni di queste parti. Gli è per tal modo che le gocce di pioggia, mentre cadono, assumono esattamente la forma sferica, come viene riconosciuto dal fenomeno dell'arcobaleno, che senza di ciò sarebbe inesplicabile; e la fabbricazione dei pallini di piombo per la caccia, la quale consiste nel lasciar cadere delle gocce di piombo fuso da un'altezza bastante perchè possano solidificarsi mentre sono in moto, riposa su questa medesima proprietà. La terra doveva dunque tendere del pari ad assumere la forma d'una sfera esatta, quando, pel suo stato di fluidità, le diverse molecole di cui è composta, potevano muoversi facilmente le une rispetto alle altre.

Ma per il moto di rotazione di cui era animata terra la non potè assumere questa forma esattamente. Ogni molecola provava perciò l'azione di una forza centrifuga risultante dal suo moto circolare intorno all'asse di rotazione dell'intiera massa; e questa forza dovette modificare la forma che la terra avrebbe assunta se le sue diverse molecole non fossero state soggette che alle loro vicendevoli azioni. La forza centrifuga, tendendo ad allontanare le molecole della terra dall'asse intorno al quale eseguivasi il comune loro moto di rotazione, produsse un rigonfiamento verso l'equatore ed uno schiacciamento verso i poli. La terra si arrestò quindi a una figura d'equilibrio, per modo che la risultante dell'attrazione esercitata dall'intiera massa sopra una molecola situata in un punto qualunque della sua superficie, e della forza centrifuga corrispondente a questa molecola, fosse diretta normalmente alla superficie medesima in questo punto.

La teoria indica che, in virtù di quest'azione della forza centrifuga, la superficie della terra ha dovuto assumere la forma d'un ellissoide di rivoluzione schiacciato, avente per asse di figura il suo asse di rotazione. La successiva solidificazione delle materie situate alla superficie del globo, o vicino a questa superficie, si compì in appresso senza modificare sensibilmente la

forma di questa superficie; e fu per tal modo che la terra è giunta allo stato in cui la vediamo di presente, offrendo tuttora lo schiacciamento prodotto in origine dal suo moto di rotazione.

Le acque del mare trovansi ancor adesso nelle condizioni in cui trovavasi tutta la massa della terra quand'essa era totalmente fluida: l'equilibrio di queste acque si stabilì conformemente alla condizione indicata or fa un istante, e la forma della loro superficie è sensibilmente quella medesima che presentava la superficie della terra prima d'essersi solidificata. Dal che deriva che questa superficie del mare, supposta dovunque prolungata, non s'allontana molto dalla superficie dei continenti, e noi l'abbiamo potuto assumere come la forma dell'insieme della superficie del globo terrestre (93). Abbiamo veduto che le diverse misure eseguitesi sulla terra confermano le indicazioni della teoria, mostrando che, salvo le accidentali irregolarità, la superficie del globo è sensibilmente quella d'un ellissoide di rivoluzione schiacciato, avente per asse di figura la linea dei poli (108).

306. **Variazione dell'intensità della gravità sulla superficie della terra.** — Lo schiacciamento della terra e la forza centrifuga generata dal suo moto di rotazione sopra sè stessa concorrono a far variare l'intensità della gravità sulla superficie del globo. Confrontiamo, per esempio, due molecole di una stessa massa, situate l'una ad uno dei poli della terra, e l'altra in un punto dell'equatore. L'attrazione che la massa totale della terra esercita sulla prima di queste due molecole è maggiore di quella da essa esercitata sulla seconda, perchè il raggio terrestre che va al polo è minore del raggio dell'equatore; in oltre la molecola che trovasi al polo non prova l'effetto della forza centrifuga, mentre questa forza agisce sulla molecola situata all'equatore, e fa equilibrio così ad una porzione della forza derivante dall'attrazione della massa della terra su questa molecola: pertanto, per questa duplice ragione, la forza in virtù della quale la molecola situata al polo tende ad avvicinarsi al centro della terra, è maggiore della forza analoga che corrisponde alla molecola situata all'equatore.

Mano mano che ci allontaniamo da uno dei poli della terra per avvicinarci all'equatore, ci troviamo a distanze ognor più grandi dal centro della terra; inoltre la forza centrifuga aumenta ognor più: ne segue pertanto che la risultante dell'attrazione esercitata dalla massa totale della terra e della forza centrifuga, la

quale risultante non è altro che quella che chiamasi la gravità, ha un'intensità ognor più piccola (*). Una tale progressiva

(*) Da tutto ciò si vede come la rotazione della terra abbia generata la forza centrifuga; come per questa forza la terra abbia assunta la forma elissoide; e come in fine, per la stessa forza centrifuga e insieme a cagione di questa nuova forma, sia rimasta modificata l'azione attrattiva del globo sui corpi posti alla sua superficie. La stessa causa pertanto ebbe ad esercitare un'azione diretta ed un'azione indiretta, i cui effetti per altro cospirano a diminuire l'intensità della gravità, andando dai poli all'equatore.

Più facile riesce calcolare la diminuzione della gravità prodotta direttamente dalla forza centrifuga. Fu già detto come questa forza sia nulla ai poli e cresca continuamente andando dai poli all'equatore. Infatti s'imagini una sezione fatta alla terra mediante un piano passante pel suo asse; e si rappresentino con *p* e *p'* (fig. 370) quest'asse, e con *p*, *m*, *e* tre punti

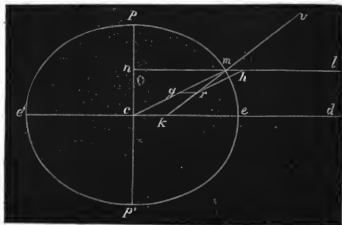



Fig. 370.

della superficie terrestre, il primo situato ad uno dei poli, il terzo all'equatore, ed il secondo in una posizione intermedia tra il polo e l'equatore; e si conducano le perpendicolari *mn*, *ec* all'asse di rotazione *pp'*. Per la rotazione della terra il punto *p* non subisce movimento di sorta, mentre i due punti *m*, *e* descrivono due circonferenze di cerchio aventi per raggio la prima *m n*, la seconda *e c*; quindi il punto *p* non viene animato da nessuna forza centrifuga; e siccome questa forza cresce proporzionalmente al raggio della circonferenza descritta nella rotazione, così ne' due punti *m*, *e* si generano forze centrifughe di diversa intensità, anzi queste forze centrifughe sono proporzionali ai due raggi *m n*, *e c*: si vede pertanto come queste forze centrifughe debbano andare continuamente crescendo dai poli

diminuzione nell'intensità della gravità, a misura che ci avviciniamo all'equatore, venne confermata dall'esperienza nel modo seguente:

La durata delle piccole oscillazioni d'un pendolo (7) dipende evidentemente dalla grandezza della forza che agisce sul corpo

all'equatore. Ma ciò non è tutto All'equatore la forza centrifuga tende ad allontanare il punto *e* nella direzione *e d*, mentre esso è insieme attratto verso il centro della terra secondo la direzione *ec;* per cui, essendo la forza centrifuga direttamente opposta alla forza d'attrazione verso il centro della terra, essa va tutta in diminuzione di questa forza. Nel punto *m* invece la forza centrifuga agisce secondo *ml*, prolungamento del raggio di rotazione *mn;* la forza d'attrazione, nel caso della terra sferica, agisce a seconda del raggio terrestre *mc:* le due forze pertanto agiscono ad angolo, per cui se si prendono le parti *mh*, *mg*, la prima sulla *ml*, la seconda sulla *mc*, tali che rappresentino le grandezze della forza centrifuga e dell'attrazione, e si compie il parallelogrammo *mgrh*, la diagonale *mr* di questo parallelogrammo rappresenterà la risultante di quelle due forze; e qui si vede come non tutta la forza centrifuga vada in diminuzione dell'attrazione. Quindi anche per questa cagione lo scemamento della gravità deve crescere dai poli andando all'equatore. È per questa medesima composizione delle due forze che la terra ebbe ad acquistare nella rotazione la forma ellissoide; essendochè per l'equilibrio la risultante *mr* delle due forze centrifuga e di attrazione doveva essenzialmente riuscire normale alla superficie terrestre nel punto *m*.

Conoscendosi le dimensioni del globo terrestre e il tempo della sua rotazione, si può facilmente determinare l'intensità della forza centrifuga per ogni punto della sua superficie. Così si è trovato che all'equatore questa forza è circa $\frac{1}{289}$ della gravità, vale a dire che per la rotazione della terra il peso d'ogni corpo che trovasi all'equatore è diminuito di $\frac{1}{289}$ di quello che sarebbe se questa rotazione non esistesse. Siccome poi la forza centrifuga cresce col quadrato della velocità, e 289 è il quadrato di 17, così se la terra ruotasse con una velocità 17 volte maggiore di quella che ha effettivamente, la forza centrifuga all'equatore diverrebbe 289 volte maggiore di quella che è attualmente; vale a dire eguaglierebbe l'intera gravità, per modo che i corpi all'equatore non si troverebbero più soggetti a questa forza, non avrebbero cioè più peso; e se la rotazione della terra fosse più che 17 volte maggiore dell'attuale, i corpi all'equatore verrebbero lanciati nello spazio.

Assai più difficile è la determinazione della diminuzione della gravità prodotta dall'essere la terra non già una sfera, ma un ellissoide schiacciato ai poli; poichè se la terra fosse perfettamente sferica, la sua massa si potrebbe ritenere compenetrata nel suo centro, e l'attrazione da essa esercitata sopra un punto qualunque della sua superficie sarebbe sempre la stessa; mentre essendo sferoidica, un corpo situato all'equatore e un altro perfettamente eguale ad esso situato ad uno dei poli, si tro-

sospeso all'estremità del filo e che determina queste oscillazioni; maggiore sarà questa forza e più breve sarà il tempo impiegato dal pendolo a compiere un'intiera oscillazione, tutte le altre circostanze essendo eguali. Si comprende quindi che, mediante l'osservazione del moto d'un pendolo in un luogo qualunque, si possa determinare l'intensità della gravità in questo luogo; e che, ripetendo l'osservazione in diversi luoghi della terra, si possa stabilire che l'intensità della gravità varia realmente alla maniera che abbiamo indicata: il che è appunto quanto ha luogo. Risulta da moltiplicate osservazioni, fatte in un gran numero di luoghi, che la velocità acquistata da un corpo dopo un secondo di caduta è di $9^m,7801$ per secondo all'equatore, e di $9^m,8308$ per secondo al polo. È noto che a Parigi questa velocità, che la gravità comunica ai corpi nel primo secondo di loro caduta, è di $9^m,8088$ per secondo.

La scoperta della variazione dell'intensità della gravità sulla superficie della terra è dovuta a Richer. Questo astronomo, inviato a Cayenne nel 1672 dall'Accademia delle scienze di Parigi per farvi delle osservazioni, s'accorse che l'orologio di cui si serviva, e che aveva regolato a Parigi prima della sua partenza, ritardava ogni giorno a Cayenne d'una quantità notevole; l'intensità della gravità, più debole a Cayenne che a Parigi, faceva oscillare più lentamente il pendolo del suo orologio, ciò che cagionava l'osservato ritardo. Questa scoperta aggiunse gran peso alle idee emesse da Newton sulla forma della superficie della terra, conseguenza naturale delle quali era la variazione dell'intensità della gravità (*).

vano in condizioni geometriche differenti rispetto alla massa di questo ellissoide. Dalle ricerche fatte per altro risulta che pel solo effetto della sferoidicità della terra, fatta astrazione dalla forza centrifuga, il peso d'un corpo trasportato da un polo all'equatore deve diminuire di $\frac{1}{590}$; vale a dire la differenza fra la gravità ai poli e la gravità all'equatore, pel solo effetto della sferoidicità della terra, è di $\frac{1}{590}$ dell'attuale gravità ai poli. La totale differenza della gravità ai poli ed all'equatore sarà per conseguenza la somma delle due frazioni $\frac{1}{289}$ e $\frac{1}{590}$, sarà cioè di $\frac{1}{194}$; vale a dire all'equatore la gravità è di $\frac{1}{194}$ minore di quella che è ai poli; in altre parole se con 194 si rappresenta l'intensità della gravità ai poli, all'equatore è rappresentata con 193.

(*) La gravità di $9^m, 8088$ assegnata dall'autore per Parigi corrisponde all'altezza di 70 metri sul livello del mare: la lunghezza del pendolo che batte i minuti secondi vi è di $0^m, 993824$; ma nelle identiche circo-

507. Spiegazione del fenomeno delle maree. — La superficie dell'acqua del mare non si mantiene perfettamente immobile. Fatta

stanze, al livello del mare la gravità sarebbe di 9^m, 8031, e il pendolo che batte i secondi avrebbe la lunghezza di 0^m, 993867, essendo evidente scemare l'intensità della gravità mano mano che si va elevandosi sopra il livello del mare. Così anche a Milano all'Osservatorio astronomico all'altezza di 120^m, 5 sul livello del mare la gravità è rappresentata con 9^m, 8061, e il pendolo che batte i secondi ha la lunghezza di 0^m, 993565; mentre nelle medesime circostanze ed al livello del mare la gravità sarebbe di 9^m, 8068, e la lunghezza del pendolo di 0^m, 993638.

Nella seguente tavoletta trovansi raccolte di cinque in cinque gradi di latitudine geografica, ed al livello del mare, le *lunghezze del pendolo* che batte i secondi, le intensità della *gravità*, non che i *raggi terrestri* e le *forze centrifughe* che vi corrispondono. Le piccole differenze che vi si osservano per la gravità ai poli ed all'equatore con quelle date dall'autore dipendono probabilmente dal non aver questi ridotto i suoi risultati al livello del mare. I dati per calcolare le gravità e le lunghezze del pendolo furono tolti dagli *Elementi di Fisica sperimentale e di Meteorologia*, di Pouillet, ov'è tenuto conto di tutte le osservazioni sulle lunghezze del pendolo fatte finora nei diversi luoghi della superficie terrestre. Giova altresì osservare doversi questi risultati considerare come i *medii valori* delle relative quantità, poichè le intensità della gravità nei diversi luoghi, e quindi le corrispondenti lunghezze del pendolo, dipendono altresì dalla natura geologica del suolo in questi luoghi stessi.

LATITUDINE geografica.	LUNGHEZZA del pendolo che batte i secondi.	INTENSITA' della gravità.	RAGGIO terrestre essendo = 1 quello all'equat.	FORZA CENTRIFUGA essendo = 1 la gravità all'equatore	FORZA CENTRIFUGA essendo = 1 quella all'equat.
	m	m			
0	0, 991026	9, 78126	1, 00000.	0, 00346	1, 000
5	0, 991034	9, 78164	0, 99987	0. 00345	0, 996
10	0, 991179	9, 78277	0, 99950	0. 00341	0, 985
15	0, 991363	9, 78471	0, 99978	0, 00334	0, 966
20	0, 991619	9, 78711	0, 99961	0, 00325	0, 940
25	0, 991931	9, 79020	0, 99940	0, 00314	0, 906
30	0, 992294	9, 79577	0, 99916	0, 00300	0, 866
35	0, 992694	9, 79772	0, 99890	0, 00284	0, 819
40	0, 993124	9, 80194	0, 99862	0. 00263	0, 766
45	0, 993562	9, 80629	0, 99853	0, 00245	0, 707
50	0, 994002	9, 81065	0, 99804	0, 00225	0, 643
55	0, 994429	9. 81485	0, 99776	0, 00199	0, 574
60	0, 994829	9, 81880	0, 99749	0. 00173	0, 500
65	0, 995192	9, 82257	0, 99725	0. 00146	0, 425
70	0, 995504	9, 82546	0, 99705	0. 00118	0, 342
75	0, 995738	9, 82796	0, 99688	0. 00089	0, 259.
80	0, 995945	9, 82940	0, 99676	0. 00060	0, 174
85	0, 996039	9, 85095	0, 99668	0, 00030	0, 087
90	0, 996097	9, 85151	0, 99666	0 00000	0, 000

astrazione delle ondulazioni più o meno forti che presenta, e che sono dovute all'azione del vento, è noto che essa si eleva e si abbassa periodicamente, eseguendo così un'intiera oscillazione in un intervallo di tempo alquanto maggiore di 12 ore; inoltre l'ampiezza totale di questo moto ascendente e discendente varia in ogni luogo secondo le epoche, e il suo valore medio cambia generalmente passando d'un luogo in un altro. Questo fenonemo costituisce ciò che chiamasi *marea*. La teoria della gravitazione universale ne fece conoscere la cagione, e per essa se ne possono facilmente spiegare le circostanze diverse, come stiamo per vedere.

Da quanto abbiamo detto (305), la direzione del filo a piombo in ogni luogo della terra è quella della risultante dell'attrazione totale della terra sul corpo pesante ond'è formato e della forza centrifuga sviluppata su questo corpo dalla rotazione della terra intorno al proprio asse. Se queste due forze agissero realmente da sole sul filo a piombo, la sua direzione si manterrebbe costantemente e rigorosamente la stessa rapporto alla superficie della terra; ma il sole e la luna, esercitando la loro attrazione sul corpo sospeso all'estremità del filo, danno al filo stesso una direzione alquanto diversa da quella che assumerebbe senza l'azione di questi astri: e siccome la loro posizione rispetto al luogo che si considera varia continuamente nel periodo d'ogni giorno, così ne risulta che le deviazioni ch'esse fanno provare al filo a piombo hanno luogo ora in un verso ora in un altro, e che la grandezza di queste deviazioni cangia da un istante all'altro; in una parola, in virtù di quest'azione del sole e della luna, il filo a piombo deve oscillare continuamente intorno alla posizione invariabile che assumerebbe se non fosse soggetto che all'attrazione della terra ed alla forza centrifuga. Il calcolo dimostra che il massimo angolo compreso da due diverse posizioni che il filo a piombo assume così successivamente non è che una piccolissima frazione di minuto secondo: quest'angolo è troppo piccolo perchè il cambiamento di direzione del filo possa essere distinto, per quante cure si pongano ad osservarlo.

Il filo a piombo non è il solo strumento cui si possa ricorrere per riconoscere il cambiamento di direzione della verticale; un livello a bolla d'aria, od anche un livello ad acqua, potrebbero essere egualmente impiegati a renderlo manifesto; ma per l'estrema piccolezza della totale deviazione del filo a piombo, dovuta all'azione combinata del sole e della luna, possiamo comprendere come anche i più sensibili livelli dei

quali ci serviamo comunemente non possano indicarci in modo alcuno l'esistenza di questa deviazione. Un livello per altro che avesse dimensioni bastantemente grandi, la cui lunghezza, per esempio, fosse eguale alla distanza che separa l'Europa dall'America, un tale immenso livello potrebbe renderci facilmente sensibile il periodico cambiamento che prova la direzione della verticale; e in tale strumento si dovrebbe vedere la superficie del liquido elevarsi ed abbassarsi periodicamente ad ognuna delle sue estremità. Ora questo livello si può ritenere formato dall'Oceano Atlantico, che si stende in fatto dall'Europa all'America; e le oscillazioni della superficie dell'Oceano, che costituiscono il fenomeno delle maree, altro non sono che i moti prodotti nel liquido dal periodico cambiamento della direzione della verticale, derivante dalle azioni del sole e della luna.

308. Dopo esserci formata questa idea generale della cagione delle oscillazioni periodiche della superficie del mare, cerchiamo di analizzare più accuratamente il fenomeno, a fine di riconoscere quali diversi particolari deve esso presentare.

Supponiamo che il mare si stenda su tutta la superficie del globo terrestre, e che la luna agisca da sola per produrre i moti periodici di cui ci occupiamo. Siccome la superficie generale dei mari non differisce molto nel suo insieme dalla superficie d'una sfera, le oscillazioni che vi determina la luna debbono evidentemente essere assai approssimatamente quelle stesse che avrebbero luogo se questa superficie fosse rigorosamente sferica; di maniera che, per studiare siffatte oscillazioni, possiamo considerare questo semplicissimo caso, e far astrazione dello schiacciamento e delle diverse irregolarità accidentali della superficie del mare.

L, m, A, E, F, e, f, C, m, O, m, D, g, h, G, B, H, m'

Fig. 371.

Il corpo pesante sospeso all'estremità del filo a piombo, che supponiamo collocato in uno dei punti della superficie A C B D dalla terra (fig. 371), prova da parte della luna L un'azione analoga a quella che la luna prova da parte del sole (300); la forza perturbatrice, dovuta all'a-

zione della luna sul corpo di cui si tratta, è quindi la risultante dell'attrazione che la luna esercita su questo corpo, e di una forza che, per ogni unità di massa, è uguale e contraria all'attrazione della luna sulla terra intiera considerata come tutta compenetrata in un punto O. Questa seconda forza, sempre parallela alla retta O L, mentre la prima agisce secondo la retta che congiunge la luna col punto che si considera sulla terra, è maggiore o minore della prima forza, secondochè la distanza O L è minore o maggiore della distanza della luna da questo punto della terra. È facile pertanto il vedere che, in conseguenza della presenza della luna in L, l'intensità della gravità è soltanto diminuita in A e in B, ma non ne è cambiata la direzione; che in C ed in D non evvi cambiamento sensibile nell'intensità e nella direzione di questa forza; che in E ed in F il corpo pesante del filo a piombo si avvicina alla luna, ciò che dà al filo le direzioni E *e*, F *f*, in luogo delle direzioni E O, F O; finalmente, che in G ed in H il corpo pesante del filo a piombo è come respinto dalla presenza della luna, per cui il filo assume le direzioni G *g*, H *h*, invece delle direzioni G O, H O. La superficie del mare, la quale in ogni punto tende sempre a disporsi normalmente alla direzione del filo a piombo, e che sarebbe esattamente sferica se questo filo fosse dovunque diretto verso il punto O, deve dunque assumere la forma indicata dalla curva *m m;* e questa superficie deve allungarsi a seconda del diametro A B diretto verso la luna, ed accorciarsi a seconda dei diametri quale è C D, che sono perpendicolari al primo. Cercando di determinare quale sia la natura della forma che la superficie del mare tende ad assumere per la presenza della luna, trovasi essere quella di un ellissoide di rivoluzione allungato, avente il diametro A B per asse di figura (*).

(*) Come trovasi affatto naturale che la luna colla sua attrazione sollevi le acque dell'Oceano sulle quali passa, riesce meno facile a comprendersi com'essa produca il medesimo effetto sulle regioni opposte del globo. Sebbene ciò sia dimostrato anche dall'autore, riescirà forse più facilmente intelligibile se si considera che un tale effetto non è prodotto dall'intiera attrazione della luna, sibbene dalla differenza tra le attrazioni esercitate dalla luna sulle due superficie opposte e sul centro della terra. Un esempio varrà forse a spiegare ancor meglio il fenomeno. Una goccia d'acqua isolata e non soggetta ad alcuna forza esteriore assume manifestamente la forma sferica: se una tal goccia venisse a cadere liberamente nel vuoto per effetto di una forza attraente, la cui intensità si mantenesse costante, tutte le sue parti si muoverebbero egualmente dello stesso

Vediamo ora ciò che deve avvenire nel caso in cui la luna muovasi intorno alla terra, com'essa fa in un periodo alquanto maggiore d'un giorno, in virtù del suo moto diurno. Supponiamo che la luna si mantenga costantemente nel piano dell'equatore: ruotando essa, come fu detto, intorno alla terra, l'ellissoide secondo cui la superficie del mare deve disporsi ad ogni istante in conseguenza della sua azione, ruoterebbe nello stesso tempo di essa intorno all'asse del mondo, ed il suo asse di figura non uscirebbe dal piano dell'equatore terrestre. In ogni punto di quest'equatore la superficie del mare dovrebbe ascendere e discendere due volte mentre la luna compie un suo giro intorno alla terra; ed il mare dovrebbe essere alto mentre la luna passa al meridiano del luogo che si considera, basso quando la luna tramonta, alto di nuovo quando la luna passa pel meridiano al di sotto dell'orizzonte, e finalmente basso di nuovo quando la luna sorge. La differenza di livello tra un'alta marea ed una bassa marea dovrebb'essere poi eguale alla differenza tra il raggio maggiore e il raggio minore dell'ellissoide *mm;* e calcolando questa differenza pel caso in cui la distanza della luna dalla terra ha il suo valor medio di 60 raggi terrestri, trovasi ch'essa sarebbe di 0^m, 50. In ogni punto della superficie della terra che non sia sull'equatore dovrebbe accadere il medesimo fenomeno, colla sola differenza che l'ampiezza delle oscillazioni della superficie del mare sarebbe minore che all'equatore, e tanto minore quanto più il punto che si considera è più lontano da questo circolo massimo: ai poli l'ampiezza delle oscillazioni si ridurrebbe a zero, o, in altri termini, la superficie del mare rimarrebbe perfettamente immobile.

Se riteniamo che la luna non trovisi nel piano dell'equatore, vale a dire che la sua declinazione non sia nulla, il suo moto diurno si compie sensibilmente in un parallelo della sfera ce-

moto uniformemente accelerato, e quindi la goccia non altererebbe la sua forma sferica. Ma se la forza che fa cadere la goccia andasse crescendo man mano che questa cade, le parti più vicine al centro di attrazione verrebbero attirate più che le parti centrali, e queste più che le parti più lontane, e la goccia andrebbe allungandosi finchè l'attrazione molecolare facesse equilibrio alla forza che tenderebbe a produrre la separazione delle parti. Lo stesso si può ritenere avvenga della terra, la quale può essere considerata come continuamente cadente verso la luna, mentre la forza che la sollecita a cadere è più grande nelle parti vicine alla luna che nelle parti centrali, e in queste più grande che nelle parti opposte alla luna.

leste. In questo caso l'asse della superficie ellissoidale del mare deve muoversi descrivendo una superficie conica passante per questo parallelo, per modo cioè che ognuno dei due vertici dell'ellissoide percorra un parallelo della terra, essendo questi due paralleli situati uno da una parte, l'altro dall'altra dell'equatore e ad eguale distanza di questo circolo massimo. Ed esaminando quanto deve avvenire nei diversi luoghi della terra, si vede che il mare deve ancora elevarsi ed abbassarsi due volte mentre la luna descrive il parallelo celeste sul quale essa si trova: inoltre l'oscillazione della sua superficie per un punto dell'equatore terrestre deve compiersi esattamente alla stessa maniera che nel caso in cui la declinazione della luna sia nulla, eccetto che la sua ampiezza dev'essere meno grande: per un punto della terra che non sia sull'equatore le due alte maree che avvengono in ogni giorno non devono essere eguali; l'altezza che raggiunge la superficie del mare quando la luna passa al meridiano al di sopra dell'orizzonte deve essere diversa da quella ch'essa raggiunge quando quest'astro passa al meridiano al di sotto dell'orizzonte: ai poli l'oscillazione della superficie del mare si riduce ancora a zero.

Il sole esercita sulle acque del mare un'azione analoga all'azione della luna; ma quantunque la sua massa sia grandissima rispetto alla massa della luna, la sua influenza sulle oscillazioni delle acque del mare è più debole di quella del satellite della terra, trovandosi esso ad una distanza dalla terra molto più grande della distanza della terra dalla luna. Tenendo conto di queste due circostanze, che risguardano e la massa e la distanza, trovasi che l'effetto prodotto dal sole e quello prodotto dalla luna devono essere nel rapporto di 1 a 2, 05. Tranne questa differenza nell'intensità delle azioni dei due astri, il sole deve produrre tali oscillazioni nella superficie del mare da presentare esattamente le medesime particolarità di quelle prodotte dalla luna.

Agendo il sole e la luna sul mare nello stesso tempo, ognuno di questi due astri produce lo stesso effetto che se agisse da solo; ma le oscillazioni dovute all'azione del sole combinandosi con quelle prodotte dalla luna, ne risulta che la superficie del mare trovisi assoggettata ad un moto complesso, di cui per altro ci è facile indicare le circostanze principali. Supponiamo che le declinazioni del sole e della luna siano nulle, per modo che, in virtù del moto diurno, l'uno e l'altra si muovano intorno alla terra senza uscire dal piano dell'equatore di questa. In tale ipotesi, se la luna è in congiunzione, gli assi delle ellissoidi dovute alle

azioni isolate della luna e del sole sulle acque del mare trovansi ambedue situati sulla stessa linea retta, e quindi gli effetti dovuti ad ognuno dei due astri s'aggiungono l'uno all'altro, e ne risulta un'oscillazione esattamente simile a quella che determinerebbe da solo la luna, eccetto che la sua ampiezza è maggiore; e siccome il rapporto che esiste tra le intensità delle azioni perturbatrici dovute al sole ed alla luna è di 1 a 2, 05, così il rapporto tra l'ampiezza dell'oscillazione prodotta dai due astri insieme e quella che produrrebbe da solo la luna è eguale al rapporto di 3, 05 a 2, 05; vale a dire quest'ampiezza per un punto dell'equatore, invece d'essere di $0^m, 50$, arriva a $0^m, 74$. Se la luna è in opposizione, gli assi delle due ellissoidi coincidono ancora, e l'oscillazione della superficie del mare è esattamente la stessa che all'epoca della congiunzione. Quando la luna è in quadratura gli assi delle due ellissoidi sono fra loro perpendicolari; quindi gli effetti dovuti al sole ed alla luna sono fra loro contrarii; e se la marea in un punto dev'essere alta in virtù dell'azione della luna, dev'essere bassa nel medesimo istante in virtù dell'azione del sole; e siccome l'azione della luna è maggiore di quella del sole, così ne risulta un'oscillazione la quale presenta le stesse circostanze di quella che produrrebbe da sola la luna, con questa differenza che la sua ampiezza è più debole nel rapporto di 1, 05 a 2, 05; per cui all'equatore l'ampiezza si riduce a $0^m, 26$ invece di essere di $0^m, 50$. In ogni altra epoca compresa tra le sizigie e le quadrature gli assi delle due ellissoidi lunare e solare comprendono un angolo acuto, e la simultanea esistenza delle azioni del sole e della luna fa sì che la superficie del mare assuma la forma di un'ellissoide avente il suo asse di figura diretto entro questo angolo acuto, e più vicino all'asse dell'ellissoide lunare che a quello dell'ellissoide solare; la differenza poi tra il raggio minore e il raggio maggiore dell'ellissoide che ne risulta passa per tutti i valori compresi da $0^m, 74$ a $0^m, 26$, mentre l'angolo formato dagli assi delle due ellissoidi lunare e solare va aumentando da 0 fino a 90°.

Così, supponendo che le declinazioni del sole e della luna rimangano sempre nulle per tutta la durata di una lunazione, l'oscillazione della superficie del mare in un punto dell'equatore presenterà successivamente le circostanze seguenti. All'epoca del novilunio, l'alta marea giungerà all'istante in cui la luna passerà al meridiano, sia al di sopra sia al di sotto dell'orizzonte; la bassa marea giungerà all'istante in cui la luna sorgerà o tramonterà; e la differenza di livello dall'alta marea alla bassa

marea sarà di 0^m, 74. A partire da quest'epoca, allontanandosi la luna dal sole sulla sfera celeste, andando da occidente verso oriente, l'alta marea avrà luogo ogni giorno poco prima del passaggio della luna al meridiano, e la bassa marea un po' prima del nascere o del tramontare di quest'astro; e l'ampiezza dell'oscillazione diminuirà di giorno in giorno. All'epoca del primo quarto l'alta marea giungerà di nuovo all'istante del passaggio della luna al meridiano, e l'ampiezza dell'oscillazione del mare si ridurrà a 0^m, 26. Dopo il primo quarto l'ampiezza dell'oscillazione aumenterà continuamente, e l'alta marea accadrà poco dopo il passaggio della luna al meridiano. Finalmente all'epoca del plenilunio l'alta marea giungerà di nuovo all'istante del passaggio della luna al meridiano, e la differenza di livello dall'alta alla bassa marea tornerà ad essere eguale a 0^m, 74. A partire da quest'epoca, e per tutta la seconda metà della lunazione, tutto accadrà esattamente nella stessa maniera che durante la prima metà.

In questo medesimo caso, in cui le declinazioni del sole e della luna rimangono costantemente nulle, l'oscillazione della superficie del mare per un luogo qualunque non situato sull'equatore deve successivamente presentare circostanze affatto simili a quelle che abbiamo indicate; se non che l'intensità del fenomeno è meno pronunciata, e tanto meno quanto maggiore è la latitudine del luogo: ai poli la superficie del mare deve mantenersi assolutamente immobile.

Se finalmente supponiamo che le declinazioni del sole e della luna non si mantengano sempre nulle, onde rientrare nella realtà, noi vedremo che il moto oscillatorio della superficie del mare si complicherà, compiendosi per altro ancora nel suo assieme press'a poco alla maniera che abbiamo indicato. Le declinazioni del sole e della luna, ora grandi, ora piccole, ora boreali, ora australi, daranno luogo sopra tutto a differenze tra le due maree d'uno stesso giorno, per qualunque punto la cui latitudine non sia nulla, come avea luogo nel caso in cui non abbiamo considerato che l'azione della luna sulle acque del mare. Anche le variazioni nelle distanze della luna e del sole dalla terra, producendo variazioni corrispondenti nelle intensità delle loro azioni sulle acque del mare, complicano maggiormente il fenomeno. Ma in mezzo a tutte queste complicazioni il moto della superficie del mare si mantiene sempre regolato sul moto diurno della luna intorno alla terra; l'alta marea ha luogo in ogni giorno all'istante medesimo del passaggio della luna al meridiano, ovvero

poco prima o poco dopo questo passaggio; e siccome il tempo che scorre tra due successivi passaggi della luna al meridiano al di sopra dell'orizzonte è per termine medio di 24^{ore} 50', ne segue che l'intervallo di tempo compreso tra due alte maree ha un medio valore di 12^{ore} 25'.

509. Il fenomeno delle maree quale viene osservato sulle rive del mare ha grandissima analogia col moto oscillatorio di cui abbiamo rapidamente indicato le principali circostanze; è per altro lontano d'essere affatto identico con questo moto, esistendo fra essi differenze essenziali che verremo esponendo.

Effettivamente in ogni luogo l'intervallo di tempo compreso tra due alte maree consecutive è per termine medio eguale a 12^{ore} 25', ma l'alta marea invece di succedere all'istante medesimo in cui la luna passa al meridiano, all'epoca delle sizigie e delle quadrature, non ha luogo che un certo tempo dopo di questo passaggio. L'oscillazione della superficie del mare è veramente nel suo insieme regolata sempre sul moto diurno della luna intorno alla terra; ma ciascuna delle fasi di questa oscillazione trovasi in ritardo rispetto all'istante nel quale dovrebbe accadere, seguendo le considerazioni teoriche esposte, e inoltre questo ritardo è assai diverso dall'uno all'altro luogo.

E invero, l'ampiezza dell'oscillazione della superficie del mare in ogni luogo talora è grande, talora è piccola, e le alternative d'incremento e diminuzione di quest'ampiezza si accordano colle fasi della luna, per modo che ad una medesima fase corrisponde sempre presso a poco la stessa differenza di livello tra un'alta marea e la susseguente bassa marea; ma la massima intensità del fenomeno non corrisponde all'epoca del novilunio e del plenilunio, come pure non corrisponde all'epoca delle quadrature la sua minore intensità. L'ampiezza dell'oscillazione aumenta e diminuisce successivamente, seguendo esattamente le leggi derivanti dalle precedenti considerazioni teoriche; ma i maggiori e i minori valori di quest'ampiezza non si verificano che un giorno e mezzo circa dopo le epoche alle quali dovrebbero accadere dietro queste considerazioni teoriche.

La quantità di cui la superficie del mare si eleva e si abbassa successivamente è in generale molto maggiore di quella che abbiamo trovata, ammettendo che questa superficie assuma in ogni istante la figura d'equilibrio che corrisponde alla grandezza ed alla direzione delle azioni perturbatrici del sole e della luna. Abbiamo veduto che la maggior differenza di livello che possa verificarsi in tale ipotesi tra un'alta marea e la bassa ma-

marea susseguente è soltanto di $0^m,74$ all'equatore qualora il sole e la luna si trovino alla loro media distanza dalla terra; nel caso in cui il sole e la luna si trovassero ambedue alle loro minime distanze dalla terra, questa differenza di livello non verrebbe molto aumentata: ora vi sono alcuni luoghi sulle coste di Francia in cui l'estensione del moto della superficie del mare nella direzione verticale sorpassa 13 metri.

Finalmente, quando le declinazioni del sole e della luna non sono nulle, ed è noto che queste declinazioni possono giungere sino a $23^o \frac{1}{2}$ pel sole e $28^o \frac{1}{2}$ per la luna, dovrebbe aver luogo una notevole differenza tra le altezze delle due alte maree d'una medesima giornata; mentre le osservazioni in generale non indicano che una differenza insignificante tra queste altezze.

Tutte queste divergenze tra le oscillazioni reali della superficie del mare col moto che le azioni perturbatrici del sole e della luna sembrerebbe dovessero imprimerle, a norma di quanto abbiamo detto, dipendono da due cause distinte. La prima consiste in ciò, che la terra non è totalmente ricoperta dalle acque, come abbiamo supposto; la seconda, che la superficie del mare, invece di assumere ad ogni istante la forma che conviene all' equilibrio delle acque per l'azione delle forze che loro trovansi applicate, si mantiene al contrario continuamente in moto, poichè la forma d'equilibrio verso cui essa tende cambia continuamente e non può mai raggiungerla.

Le acque del mare, contenute in uno spazio limitato da tutte le parti dai continenti, oscillano in questo spazio, che forma una specie di vaso di piccola profondità, avuto riguardo alle sue dimensioni trasversali; e le loro oscillazioni sono prodotte dalle azioni perturbatrici della luna e del sole, le cui intensità e direzioni cambiano ad ogni istante. Quando, in conseguenza di queste azioni, la superficie del mare deve ascendere verso una certa parte del bacino in cui è contenuto, le acque si portano da questa parte; la velocità colla quale succede questo moto di trasporto fa sì che le acque non si arrestino quando la loro superficie ha raggiunta l'elevazione che conviene per l'equilibrio, e ch'esse continuino a muoversi nella stessa direzione, sinchè la loro velocità venga totalmente distrutta dall'azione della gravità e dagli sfregamenti contro il fondo; di maniera che il moto oscillatorio nella direzione verticale assume così sulle rive del mare proporzioni molto maggiori che se il mare si mettesse ad ogni istante in equilibrio sotto l'azione delle forze che gli sono applicate. Da ciò si comprende non solo perchè il mare

si eleva e si abbassa molto più di quello che sembrerebbe dovesse fare sotto le azioni della luna e del sole, ma ancora perchè, all'epoca delle sizigie, l'alta marea non ha luogo all'istante preciso del passaggio della luna al meridiano: in questo istante le azioni del sole e della luna si trovano nelle condizioni convenienti per sostenere le acque del mare ad un'altezza maggiore di quanto potrebbero fare prima e dopo; ma le acque che si sono elevate sotto queste azioni prima del passaggio della luna al meridiano, continuano ancora ad elevarsi per qualche tempo dopo questo passaggio, in virtù dell'acquistata velocità.

Se le azioni perturbatrici del sole e della luna sulle acque del mare venissero subitamente a cessare, le oscillazioni che esse avrebbero comunicate a queste acque, sino all'istante della loro cessazione, non si annullerebbero immediatamente, ma continuerebbero ancora per qualche tempo, finchè le resistenze derivanti dagli sfregamenti dell'acqua sul fondo del mare le avessero totalmente distrutte. Le azioni del sole e della luna, invece di produrre ad ogni istante il moto totale delle acque, non tendono che ad accrescere continuamente questo moto, poichè quello che viene prodotto dalle anteriori azioni di questi astri persiste ancora mentre esse continuano ad agire: d'altra parte lo sfregamento delle acque sul fondo del mare tende continuamente a distruggere il loro moto. Ed è per l'antagonismo di queste due contrarie cagioni che sono determinate le variazioni d'intensità nelle oscillazioni del mare. Quando le azioni combinate della luna e del sole sono maggiori dell' azione dello sfregamento, l' ampiezza delle oscillazioni va aumentando; quando invece l'intensità dello sfregamento è maggiore delle azioni della luna e del sole, quest'ampiezza va diminuendo. Si comprende adunque che la massima intensità del fenomeno delle maree non deve aver luogo precisamente alle epoche delle sizigie; e quantunque, a partire da queste epoche, la forza perturbatrice dovuta alle azioni combinate dei due astri vada diminuendo, essa sorpassa ancora per qualche tempo l'intensità dello sfregamento, e l'oscillazione della superficie del mare continua ad aumentare finchè l' eccesso di questa forza sullo sfregamento divenga nullo. Parimenti questa oscillazione, la quale va diminuendo ognor più coll'avvicinarsi delle quadrature, continua ancora a diminuire dopo queste epoche, finchè la forza perturbatrice dovuta alle azioni combinate dei due astri sia tanto aumentata da raggiungere la grandezza dello sfregamento cui da qualche tempo era inferiore.

La stessa considerazione della persistenza del moto prodotto dalle azioni anteriori della luna e del sole fa vedere perchè le declinazioni, talvolta discretamente grandi di questi astri, non danno origine che a differenze appena sensibili tra le altezze delle due alte maree di una stessa giornata.

310. Tutte queste spiegazioni danno esatto conto delle discordanze che si osservano tra la teoria esposta al num. 508 ed il fenomeno delle maree. Ma prendendo in considerazione anche la forma e le dimensioni dei diversi mari, come pure le comunicazioni più o meno larghe che vi sono tra essi, possiamo spingerci ancora più innanzi, indicando la cagione delle grandissime differenze che vengono notate nell'intensità di questo fenomeno, secondo che viene osservato in uno, ovvero in altro luogo.

In un mare di piccole dimensioni, ed a maggior ragione in un lago, è chiaro che le oscillazioni delle acque dipendenti dalle azioni della luna e del sole debbono essere poco pronunciate; in un gran mare al contrario queste oscillazioni debbono essere molto più intense. Se un gran mare è limitato dall'una e dall'altra parte da coste stendentisi press'a poco secondo due meridiani, come l'oceano Atlantico, il quale è compreso tra le coste d'Europa e d'Africa da una parte e le coste d'America dall'altra, è facile il vedere che questi due limiti formano come due barriere, contro cui le acque sono costrette a fermarsi nel loro moto di trasporto, che è diretto ora dall'est verso l'ovest, ora dall'ovest verso l'est; ne devono quindi risultare in vicinanza di questi limiti e nella direzione verticale oscillazioni notevolmente più grandi di quelle che avvengono in un vasto mare quasi totalmente libero come il mare del Sud.

Se due mari comunicano l'uno coll'altro, le oscillazioni prodotte dalle azioni del sole e della luna in uno qualunque di questi due mari si propagano nell'altro; per modo che in ciascuno di essi v'hanno insieme delle oscillazioni direttamente prodotte dalle azioni dei due astri sull'acqua che esso contiene e delle oscillazioni derivanti da quelle che questi astri generano nell'altro mare; le maree che vi si osservano sono quindi il risultato della combinazione di queste due specie d'oscillazioni. Se i due mari hanno dimensioni molto diverse, le maree che hanno luogo nel più grande sono quasi per intiero maree dirette; e al contrario quelle che hanno luogo nel più piccolo non sono per così dire che maree derivate, provenienti da ciò che le oscillazioni delle acque del mare più grande si propagano successivamente in tutte le parti del più piccolo.

Le maree sono appena sensibili nel mare Mediterraneo; e ciò deriva dalle piccole dimensioni che presenta questo mare. Lo stretto di Gibilterra, pel quale esso comunica coll'oceano Atlantico, non è abbastanza grande perchè le oscillazioni delle acque di quest'oceano possano propagarsi nel suo interno in modo da produrre significanti maree derivate.

Le maree dell'oceano Atlantico producono al contrario maree derivate molto intense nel mare della Manica, col quale comunica quasi liberamente. Quando il mare s'innalza all'ovest della Francia, nelle vicinanze di Brest, il flotto dell'alta marea s'avanza poco a poco nella Manica; e trovandosi questo piccolo mare rinchiuso d'un tratto dalla penisola di Cotentin (dipartimento della Manica), il flotto ascende contro la barriera che si oppone al suo innoltrarsi, e ne risultano maree grandissime sulle coste della baja di Cancale, e specialmente a Granville: di là il flotto continua ad avanzarsi, e l'alta marea ha luogo successivamente a Cherbourg, all'Havre, a Dieppe, a Calais, ecc. Questo cammino del flotto della marea è reso sensibile dal quadro seguente, il quale porge, per diversi porti delle coste di Francia, il ritardo dell'alta marea rispetto all'istante del passaggio della luna al meridiano all'epoca delle sizigie, ritardo che denominasi *stabilimento del porto*. Lo stesso quadro contiene inoltre l'indicazione dell'ampiezza media dell'oscillazione della superficie del mare all'epoca delle sizigie.

NOMI DEI PORTI	STABILIMENTO del porto.	ALTEZZA MEDIA della marea alle sizigie.
Bajona (sbocco dell'Adour). . . .	$3^{ore}\ 30^{m}$	2, 80
Royan (sbocco della Gironda). . .	4 1	4, 70
San-Nazaro (sbocco della Loira). .	3 45	5, 36
Lorient.	3 30	4, 48
Brest.	3 45	6, 42
Saint-Malo.	6 0	11, 36
Granville.	6 30	12, 30
Cherbourg.	7 45	5, 64
La Havre (sbocco della Senna). .	9 15	7, 14
Dieppe.	10 30	8, 80
Boulogne.	10 40	7, 92
Calais.	11 45	6, 24
Dunkerque.	11 45	5, 36

511. È naturale la domanda se il sole, e sopra tutto la luna, agendo sull'atmosfera della terra, vi produceano un effetto analogo a quello che questi astri producono sul mare e che abbiamo analizzato. Non può esserci il menomo dubbio a questo riguardo. Il sole e la luna esercitano le loro azioni sull' aria atmosferica al pari che sull'acqua del mare, laonde ne devono risultare nell'atmosfera delle vere maree: solo rimane a vedersi come noi potremmo riconoscere queste maree atmosferiche, e se gli effetti pei quali ei si possono manifestare non siano troppo deboli, per modo che non ci sia possibile constatarne l'esistenza.

Noi non ci troviamo collocati in modo di vedere la superficie esteriore dell'atmosfera terrestre, come veggiamo la superficie del mare; le maree atmosferiche non ci si possono quindi rendere sensibili mediante l' osservazione del moto ora ascendente ora discendente di questa superficie esteriore. Noi ci troviamo al fondo per così dire dell' atmosfera, e non possiamo accorgerci dell'esistenza delle maree atmosferiche, come non ci accorgeremmo delle maree dell'oceano se ci trovassimo al fondo del mare. Ora è chiaro che il solo effetto che proveremmo al fondo del mare, in conseguenza delle oscillazioni della sua superficie dovute alle azioni del sole e della luna, è un cambiamento periodico nella pressione esercitata dall' acqua sugli oggetti che ne circonderebbero, in corrispondenza all'alternativo aumento e decremento dell'altezza della colonna d'acqua situata al di sopra di noi: la pressione esercitata dall'acqua andrebbe aumentando durante tutto il tempo in cui la superficie del mare si eleverebbe, e diminuendo al contrario durante tutto il tempo in cui questa superficie s'abbasserebbe. Le maree atmosferiche non possono dunque rendersi a noi sensibili che per mezzo di variazioni periodiche nella pressione esercitata dall'atmosfera nel luogo in cui ci troviamo, vale a dire per mezzo di alternativi aumenti e decrementi nell'altezza della colonna barometrica che serve di misura a questa pressione.

Bisogna però osservare che l' atmosfera non è nelle stesse condizioni del mare, il quale trovasi incassato tra i continenti: l'atmosfera circonda d' ogni parte la terra, e per conseguenza le cause che abbiamo citate onde spiegare l'eccesso considerevole dell'ampiezza reale delle oscillazioni della superficie del mare rispetto a quelle che dovrebb'essere dipendentemente dalla teoria non possono applicarsi al caso delle maree atmosferiche. L'ampiezza totale delle oscillazioni dell'atmosfera nella direzione verticale ed all'epoca delle sizigie non deve quindi allontanarsi di molto

dal valore di $0^m, 74$, che la teoria assegna a quest'ampiezza. L'altezza della colonna d'aria situata al di sopra del luogo in cui ci troviamo collocati non deve variare, in virtù delle azioni del sole e della luna, che d'una quantità press'a poco eguale a questa altezza di $0^m, 74$. Ora è noto che un aumento d'un metro nell'altezza della colonna d'aria che sovr'incumbe ad un barometro vicino alla superficie della terra non produce che un aumento d'un decimo di millimetro circa nell'altezza della colonna barometrica: le oscillazioni di questa colonna barometrica dovute alle maree atmosferiche devono dunque essere insensibili. Dalla discussione d'un gran numero di misure dell'altezza della colonna barometrica corrispondenti alle diverse fasi del moto oscillatorio onde risultano queste maree atmosferiche, non si potè giammai riconoscere la menoma traccia dell'influenza di questo moto sulla pressione atmosferica (*).

Moltissime persone attribuiscono alla luna un'influenza sui cambiamenti del tempo, sulla vegetazione, sulla conservazione del legname tagliato piuttosto in un'epoca che in un'altra, ecc. Quest'idea antichissima è talmente radicata nelle credenze popolari che probabilmente sussisterà ancora lungo tempo, quantunque non vi sia alcun fatto che tenda a stabilirne la verità, sia nelle considerazioni teoriche che servirono a spiegare tanti fenomeni, sia nei risultati numerosissimi che sono raccolti nei registri delle osservazioni. La luna, si dice, produce

(*) Dalle osservazioni barometriche fatte da Bouvard a Parigi dal primo ottobre 1815 al primo ottobre 1823, Laplace ha trovato essere soltanto *probabile* che il flusso lunare atmosferico diminuisca la variazione barometrica diurna nelle sizigie, e l'aumenti nelle quadrature, entro limiti tanto ristretti, che per effetto di questo flusso l'altezza del barometro non varii che di un diciottesimo di millimetro in più od in meno; dal che si vede quanto poco sensibile sia a Parigi l'azione della luna sull'atmosfera. Applicando le stesse formule di Laplace alle osservazioni di 11 anni, Bouvard ne confermò i risultati, avendo ottenuto che per l'azione della luna l'altezza barometrica a Parigi non verrebbe aumentata che di 0,018 di millimetro.

Flaugergues, in vent'anni d'osservazioni fatte a Viviers, dall'anno 1808 all'anno 1828, ha constatato che le altezze medie barometriche a mezzogiorno offrono sensibili differenze secondo le diverse fasi lunari; per modo che l'altezza sembra decrescere dal novilunio sino al secondo ottante, per crescere in appresso e raggiungere il suo massimo al secondo quarto. La totale escursione sarebbe di millimetri 1,44. Minore sarebbe anche l'altezza quando la luna è perigea, maggiore quando è apogea, essendo di un millimetro la differenza. In tali fenomeni non sarebbero per altro separati gli effetti dovuti all'azione solare ed all'azione semplicemente lunare.

delle oscillazioni periodiche nella superficie del mare; perchè dunque non dovrebbe avere un' influenza anche sull'aria atmosferica, e per conseguenza su tutto quanto dipende dall'atmosfera, il bello o il brutto tempo, la vegetazione, ecc? Abbiamo veduto che la luna deve agire infatti sull' aria come sulle acque del mare, ma che quest'azione non si riduce in ultimo che ad un cambiamento insignificante nella pressione atmosferica, ciò che nulla può avere di comune cogli effetti che si attribuiscono a quest' azione della luna. È raro che le persone imbevute dal pregiudizio di cui parliamo non dicano essere la loro convinzione fondata sui risultati della propria esperienza; eppure regolarissime osservazioni fatte per un gran numero d'anni in molti luoghi differenti nulla hanno mai indicato che s'accordasse con questa pretesa influenza della luna; e solo diffondendo ognor più la cognizione dei risultati cui le scienze ci hanno potuto condurre si può sperare che venga affatto a scomparire quest' avanzo di credenze astrologiche.

312. Influenza della rotazione della terra sui moti apparenti dei corpi situati alla sua superficie. — Abbiamo veduto che la rotazione della terra ha un' influenza notevole sull' intensità e direzione della gravità, producendo uno sviluppo di forze centrifughe che in ogni punto della superficie del globo si combinano coll'attrazione esercitata dall'intiera massa della terra sui corpi che vi si trovano. Ma quest' influenza della rotazione della terra si fa anche sentire in altra maniera; i moti dei corpi che ne circondano non avvengono rispetto a noi nella stessa precisa maniera che se la terra non ruotasse intorno al proprio asse. È ben vero che in generale non vi ha che una debolissima differenza tra i moti quali noi li vediamo e quelli che avrebbero luogo nelle medesime circostanze se la terra fosse immobile; per modo che noi non ci accorgiamo nemmeno di questa differenza, e che comunemente i moti che osserviamo intorno a noi non ci suggeriscono l'idea della mobilità del suolo su cui ci appoggiamo. Ma vi hanno dei casi nei quali la differenza di cui parliamo diviene sensibilissima; ed ora faremo conoscere le esperienze mediante le quali si giunse a renderla manifesta in modo incontestabile.

Se la terra fosse immobile, un corpo che si lasciasse cadere da una certa altezza vicino alla sua superficie si muoverebbe esattamente secondo la verticale condotta pel suo punto di partenza, e verrebbe ad incontrare il suolo al piede di questa verticale. Pel moto di rotazione della terra sopra sè stessa

ciò non si verifica rigorosamente; ed il corpo che si abbandona all'azione della gravità, senza imprimergli alcuna velocità iniziale, non segue la verticale corrispondente al suo punto di partenza, e non cade sul suolo nel punto in cui questa retta viene ad incontrarlo.

Infatti, essendo il corpo in A (fig. 372), nell'istante in cui lo si abbandona trovasi esso realmente animato d'una certa velocità, che è quella che corrisponde allo stesso punto A, in virtù della rotazione della terra; questo corpo è dunque nelle medesime condizioni che se fosse lanciato orizzontalmente a partire dal punto A; e per conseguenza esso cade descrivendo una curva A B. Mentre esso si muove in questa maniera, la terra continua a ruotare; la verticale A C, condotta anch'essa pel punto di partenza del corpo, si sposta conservandosi però diretta verso il punto O: e se questa verticale seguisse il corpo, in modo da assare costantemente per la posizione ch'esso occupa sulla curva A B, un osservatore collocato sulla terra, e trasportato da essa nel suo moto di rotazione, crederebbe che il corpo si muova realmente secondo la retta A C, poichè in ogni istante egli lo vedrebbe in uno dei punti di questa retta. Ma così non succede; e facilmente potremo riconoscere che all' istante in cui il corpo viene ad incontrare la superficie della terra in B, la verticale A C, condotta dal suo punto di partenza, è rimasta in addietro rispetto ad esso, ed assunse una posizione quale sarebbe A′ C′.

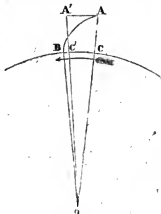



Fig. 372.

Riferiamoci perciò a quanto abbiamo dimostrato relativamente al moto d'un corpo che sia soggetto all'azione d'una forza costantemente diretta verso un medesimo punto (288); e vedremo che il moto d'un corpo pesante lungo la curva A B, sotto l'azione d'una forza costantemente diretta verso il punto O, deve compiersi conformemente alla legge delle aree; le aree cioè dei settori descritti in tempi successivi ed eguali dalla retta che congiunge il mobile col punto O, debbono essere tra loro eguali. Se il corpo non fosse stato abbandonato nel punto A, invece di

cadere percorrendo la curva A B, sarebbesi mosso secondo l'arco di cerchio AA'; questo moto sarebbe accaduto in virtù della stessa velocità iniziale in A, e non avrebbe differito dal moto secondo A B che dall'essere la forza applicata al corpo in gran parte distrutta dall'ostacolo che avrebbe mantenuto questo corpo ad una distanza invariabile dalla superficie della terra. Ma che la forza che agisce sul corpo abbia un valore piuttosto che un altro poco importa (al principio del num. 289); purchè questa forza si mantenga sempre diretta verso il punto O, le aree descritte in tempi eguali intorno a questo punto O sono sempre tra esse eguali; e i valori di queste aree sono sempre i medesimi, qualunque sieno i diversi moti che possa assumere il corpo, partendo dal punto A, colla medesima velocità iniziale, e sotto l'azione di forze aventi diverse intensità, ma le cui direzioni passino sempre pel punto O. L'area del settore A B O, descritto intorno al punto O, nel caso in cui il corpo è abbandonato all'azione della gravità, dev'essere dunque eguale all'area del settore A A' O, che sarebbe descritto nel medesimo tempo intorno a questo punto, nel caso in cui il corpo fosse stato conservato all'altezza in cui trovavasi da principio: ora l'eguaglianza di queste due aree non può evidentemente aver luogo se non nel caso che la retta A' O incontri la superficie della terra in un punto C' compreso tra C e B; vale a dire il corpo pesante, abbandonato a sè stesso nel punto A, viene a cadere sulla terra in un punto B situato in avanti rispetto alla posizione che occupa il piede della verticale condotta dal punto di partenza all'istante in cui il corpo giunge nel medesimo punto B. Siccome il moto di rotazione della terra succede da ovest verso est, così il corpo che si lasci cadere da una certa altezza, senza dargli alcuna impulsione, deve incontrare il suolo all'est del piede della verticale condotta dal suo punto di partenza.

Questa deviazione verso est, che prova un corpo cadente da una certa altezza senza velocità iniziale, non può rendersi sensibile che quando l'altezza della caduta è grandissima. Reich ne ha dimostrato l'effettiva esistenza per mezzo di esperienze eseguite a Freyberg in un pozzo di miniera: l'altezza della caduta era di $158^m,5$; e prendendo la media dei risultati forniti da un gran numero di esperienze, ha trovato che la deviazione verso est aveva un valore di $0^m,0283$. Calcolando quale avrebbe dovuto essere la grandezza di questa deviazione, partendo unicamente da considerazioni teoriche, le quali in appresso verranno sviluppate, trovasi $0^m,0276$: la differenza che esiste tra questi due numeri è

piccolissima, avuto riguardo alla grande difficoltà di fare esattamente delle esperienze del genere di quelle di cui si tratta qui (*).

(*) A comprendere più facilmente come avvenga la deviazione dalla verticale verso oriente di un corpo che cade liberamente, si osservi che il corpo mentre è in A (fig. 372), per la rotazione della terra, trovasi dotato di una velocità assoluta maggiore di quella che, per la rotazione medesima, ha il piede C della verticale corrispondente al medesimo punto A, essendo questo punto più discosto dal centro O della terra che il punto C. Questo corpo pertanto, durante la sua caduta, dovrà percorrere, nel verso della rotazione della terra, uno spazio maggiore che non sia quello descritto dal punto C, epperò dovrà incontrare il suolo in un punto B che trovasi avanzato verso oriente rispetto al piede della verticale medesima, il quale si sarà solo avanzato fino in C'.

Nelle prime discussioni sulla rotazione della terra, non considerandosi la velocità di rotazione di cui trovavasi dotato un corpo liberamente cadente, la quale era quella dovuta al suo punto di partenza, si credette al contrario che un tal corpo avesse ad incontrare il suolo in un punto situato verso occidente rispetto al piede della verticale corrispondente al suo punto di partenza. Tale era l'opinione anche di Riccioli e di Ticho-Brahé; e vedendo questi che il fatto non veniva a confermare una simile conseguenza, erano tratti a negare la rotazione della terra. Newton fu il primo che abbia considerata la quistione sotto il suo vero aspetto, come rilevasi da una sua lettera del 26 novembre 1679 diretta ad Hooke, segretario della Società Reale delle Scienze in Londra. Hooke poi fece rimarcare che non solo doveva accadere nel corpo cadente una deviazione verso oriente rispetto alla verticale, ma ne doveva aver luogo un'altra verso l'equatore; giacchè, mentre ogni punto della terra ruota descrivendo la circonferenza di un parallelo, la deviazione del corpo cadente avviene nel piano verticale determinato dalla tangente alla circonferenza del parallelo che corrisponde al suo punto di partenza, il qual piano verticale incontra la superficie del suolo secondo una circonferenza di circolo massimo, la quale devia verso l'equatore rispetto alla circonferenza del parallelo. Esaminando poi la natura della curva descritta dal corpo cadente, trovò essere questo un arco ellittico e non una spirale, come Newton dapprima aveva trovato; e forse fu da questo primo dato che Newton prese le mosse nella ricerca delle curve delle orbite dei pianeti.

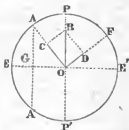
Per incarico della Società Reale delle Scienze di Londra, Hooke intraprese eziandio delle esperienze onde comprovare col fatto i risultati dell'analisi; ma le altezze dalle quali esso faceva cadere i corpi erano troppo piccole perchè le deviazioni si potessero rendere sensibili. Anche Guglielmini, nel 1791, fece cadere dei corpi internamente alla torre degli Asinelli di Bologna, da un'altezza di circa 78^m, ma anche queste esperienze non condussero a soddisfacenti risultati. Le prime esperienze dalle quali vennero comprovate queste deviazioni furono quelle di Benzenberg nel 1802, il quale fece cadere delle sfere, dapprima dalla torre di San Michele in Amburgo, dall'altezza cioè di circa $76^m,5$, e poscia nelle miniere di carbone di

313. Foucault giunse recentemente a rendere ancora più manifesta l'influenza della rotazione della terra sul moto apparente dei corpi situati alla sua superficie, per mezzo di due diversi processi che ora ci faremo ad esporre.

La prima delle esperienze notevoli ch' egli ha immaginato a questo scopo consiste nell'osservare le oscillazioni d'un pendolo molto lungo, disposto in modo da poter oscillare liberamente e colla stessa grandissima facilità in tutti i piani verticali condotti pel suo punto di sospensione. Un tal pendolo, allontanato dalla sua posizione d'equilibrio, e quindi abbandonato a sè stesso, senza alcuna velocità iniziale, compie una serie di oscillazioni nel piano verticale condotto per la posizione che gli si era data da principio. Se la terra fosse immobile, il pendolo non uscirebbe dal piano verticale nel quale cominciò ad oscillare: il suo piano d' oscillazione, avendo una direzione assolutamente invariabile nello spazio, rimarrebbe costantemente diretto verso gli stessi oggetti situati in vicinanza al luogo in cui venne disposto; ma per la rotazione della terra sopra sè stessa le cose non debbono avvenire esattamente in questa maniera.

Per renderci ragione dell'influenza che questo moto di rotazione esercita sulle oscillazioni del pendolo, supponiamo dapprima di trovarci ad uno dei poli della terra, al polo boreale P, per esempio (fig. 373). Se il pendolo fosse messo in moto alla maniera che abbiamo detto, ed il suo punto di sospensione fosse preso sopra un corpo indipendente dalla terra, e che non ruoti com' essa intorno all'asse PP', è chiaro che il piano d' oscillazione del pendolo conserverebbe una direzione invariabile nello spazio; la terra gli ruoterebbe sotto

Fig. 373.

senza ch'essò partecipasse a questo moto di rotazione, e i piani dei diversi meridiani terrestri verrebbero successivamente a coin-

Schlabusch, nella contea di Mark, dall'altezza di $84^m,5$: le deviazioni osservate verso oriente furono nelle prime esperienze di $0^m,0090$, e nelle seconde di $0^m,0113$, deviazioni che concordavano bastantemente coi risultati teorici. Le esperienze di Reich citate dall' autore venivano fatte in un tubo di legno del diametro di $0^m,49$. Non poterono finora essere constatate le deviazioni verso l'equatore perchè troppo piccole; se si potesse far cadere un corpo dall'altezza di 325^m, qual'è quella dell'Etna, la deviazione orientale ammonterebbe a $2^m,590$, e quella verso l'equatore a soli $0^m,199$.

cidere col piano verticale in cui si compiono le oscillazioni. Un osservatore posto sulla terra, il quale per conseguenza ruotasse con essa intorno all'asse PP', e che non avesse coscienza di questo moto ond'egli è animato in comune colla terra, considererebbe i meridiani terrestri come immobili, e crederebbe in conseguenza che il piano d'oscillazione del pendolo ruotasse intorno a PP', in modo da portarsi successivamente nel piano di ognuno di questi meridiani; e siccome la rotazione della terra si compie da ovest verso est, così egli vedrebbe il piano d'oscillazione del pendolo ruotare da est verso ovest intorno alla verticale condotta pel suo punto di sospensione, e con una velocità angolare precisamente eguale a quella della terra nel suo moto di rotazione; e se le oscillazioni del pendolo non venissero a cessare, il piano in cui esse si compiono sembrerebbe fare un intiero giro intorno alla verticale nel periodo d'un giorno sidereo.

Ammettendo anche che noi potessimo effettivamente trasportarci al polo boreale della terra, le circostanze che abbiamo indicate non si potrebbero verificare se la condizione di sospendere il pendolo ad un corpo indipendente dalla terra fosse indispensabile. Ma ciò non è veramente; e se anche il filo del pendolo viene per la sua estremità superiore attaccato ad un corpo unito alla terra, il quale ruoti per conseguenza con essa, il piano d'oscillazione del pendolo mantiene istessamente una direzione invariabile nello spazio. E per assicurarcene basta attaccare il filo del pendolo ad un corpo che si possa far ruotare ad arbitrio sopra sè stesso, intorno alla verticale passante pel punto di sospensione, mentre il pendolo oscilla: mettendo in moto questo pendolo, e facendo ruotare il corpo al quale è sospeso sia in un verso sia nell'altro, vedesi che il piano d'oscillazione non cambia; il filo e il corpo pesante che esso porta alla sua parte inferiore ruotano l'uno e l'altro sopra sè stessi, come si può verificare attaccando loro delle piccole appendici di carta, senza che ne risulti alcuna alterazione nella direzione del piano d'oscillazione. Il punto di sospensione del pendolo al polo P può dunque esser preso sopra di un oggetto dipendente dalla terra e che ruoti con essa, sen a che cessino dal manifestarsi le circostanze che abbiamo indicate più in alto.

Al polo australe P', fatta l'esperienza allo stesso modo che al polo boreale P, si avranno analoghi risultati; soltanto che il piano d'oscillazione del pendolo apparirà ruotare in verso contrario a cagione della posizione inversa dell'osservatore; il moto

di questo piano sarà diretto da sinistra a destra al polo boreale, e da destra a sinistra al polo australe.

Non si può comprendere con pari facilità quanto deve accadere in ogni altro punto della superficie della terra; ma è chiaro che se il piano d'oscillazione del pendolo sembra ruotare in un verso nel punto A, dovrà sembrare ruotare in verso contrario nel punto A′, situato simmetricamente ad A rispetto all' equatore EE′. Sull'equatore il piano d'oscillazione dovrà sembrare immobile, perchè non v'ha ragione ch'esso debba sembrar ruotare in un verso piuttosto che nell'altro.

Per analizzare quanto avverrà nel punto A ci appoggeremo alla proposizione seguente, che si dimostra nei corsi di meccanica: rappresentando colla retta O B l'angolo di cui ruota la terra intorno al proprio asse in un tempo brevissimo, e costruendo il parallelogrammo OCBD, avente i suoi lati OC, OD diretti uno secondo OA, l'altro perpendicolarmente ad OA, la rotazione OB intorno all'asse PP′ si può considerare come la risultante di due rotazioni simultanee, l'una intorno ad OA, e rappresentata in grandezza da OC, l'altra intorno ad OF, e rappresentata in grandezza da OD. Supponiamo dunque che alla rotazione OB, corrispondente ad un tempo brevissimo, della terra intorno al suo asse PP′ vengano sostituite le due rotazioni OC intorno all'asse OA, ed OD intorno all'asse OF, vediamo quale influenza ognuna di queste due rotazioni parziali può avere sulla direzione del piano d'oscillazione d'un pendolo collocato nel punto A. Avuto riguardo alla rotazione della terra intorno all'asse OF, il pendolo collocato in A trovasi nelle stesse condizioni che se fosse situato in un punto dell'equatore EE′, e che per esso si considerasse la rotazione reale della terra intorno all'asse PP′: la direzione del piano d'oscillazione del pendolo non è dunque per nulla modificata dall'esistenza della rotazione della terra intorno all'asse O F, e possiamo quindi fare astrazione della rotazione OD. Con ciò più non rimanendo che la rotazione OC, il pendolo posto in A deve comportarsi come farebbe in P, avuto riguardo alla rotazione reale della terra intorno a PP′: il piano d'oscillazione del pendolo deve quindi sembrar ruotare intorno alla verticale OA, con una velocità angolare eguale a quella di cui sarebbe animata la terra se non possedesse che la rotazione componente OC in luogo della rotazione risultante OB; vale a dire il tempo che impiegherebbe il piano d'oscillazione a compiere un intiero giro intorno alla verticale OA, se le oscillazioni del pendolo non venissero a cessare, e la durata del giorno

sidereo sarebbero fra loro nel rapporto reciproco delle rette OC OB. Quanto al verso secondo cui si compie questo moto apparente del piano d'oscillazione del pendolo nel punto A, è evidente essere quello stesso che ha luogo al polo più vicino; vale a dire il piano deve sembrare ruotare da sinistra a destra in un punto qualunque dell'emisfero boreale, e da destra a sinistra in un punto qualunque dell'emisfero australe.

Foucault ha realizzato a Parigi, sopra una vasta scala, l'esperienza di cui abbiamo parlato: un gran numero di persone poterono osservarla, e così assistere ad una vera manifestazione artificiale del moto di rotazione della terra sopra sè stessa. Un filo d'acciajo di circa 64 metri di lunghezza era solidamente incastrato colla sua estremità superiore in una lastra metallica fissata al centro della cupola del Panteon, e sopportava una palla di rame d'un peso molto considerevole attaccata alla sua estremità inferiore; e quando il pendolo così formato veniva messo in moto, eseguiva le sue oscillazioni con molta lentezza; la durata di ognuna di esse era di circa 8″. Onde rendere più sensibile il moto di rotazione del piano d'oscillazione intorno alla verticale, disponevansi due monticelli di sabbia fina *a*, *a* (fig. 374), ciascuno dei quali era diretto perpendicolarmente al piano verticale nel quale il pendolo cominciava ad oscillare, e situati l'uno da una parte, l'altro dall'altra di questo piano. Sotto alla palla del pendolo era fissata una punta, la quale ad ogni oscil-

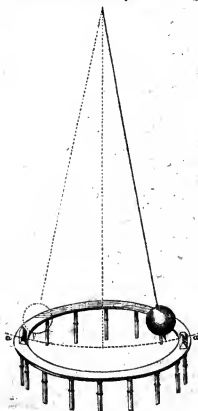



Fig. 374.

lazione urtava in questi due monticelli di sabbia, che per tal modo rimanevano distrutti a poco a poco, cioè a dire a misura che il piano d'oscillazione ruotava, come si vede nella figura. Era importante che il pendolo venisse messo in moto con tutte le precauzioni possibili, onde cominciasse la sua prima oscillazione senza avere la menoma velocità iniziale; perciò si toglieva il pendolo dalla sua posizione naturale d'equilibrio, ed allontanatolo quanto era necessario, a seconda dell'ampiezza che si voleva ottenere nelle oscillazioni, lo si conservava immobile in questa posizione per mezzo d'un filo *b* (fig. 375) attaccato a qualche oggetto fisso; poscia, quando si era certi che la palla trovavasi in perfetto riposo in questa particolare posizione, si abbruciava il filo *b* mediante la fiamma di uno zolfanello, e immediatamente il pendolo partiva, lasciando cadere la porzione di filo *b* che circondava la palla.

Fig. 375.

L'esperienza di Foucault venne ripetuta in un gran numero di luoghi, e dovunque essa riuscì bene. Le oscillazioni però non duravano per un tempo bastantemente lungo perchè il piano d'oscillazione potesse compiere un intiero giro intorno alla verticale condotta pel punto di sospensione del pendolo; bastava però misurare l'angolo onde questo piano ruotava in un tempo qualunque, per riconoscere che la velocità di questo moto di rotazione, velocità che variava da un luogo all'altro, si accordava assai bene colle considerazioni teoriche che abbiamo sviluppate. (*).

(*) A verificare le leggi della deviazione del piano d'oscillazione d'un pendolo, il signor Frisiani, nelle *Effemeridi astronomiche di Milano per l'anno* 1852, e perciò fino dall'anno 1851, ebbe a suggerire la felice idea di un commutatore reso magnetico ad intervalli da una corrente elettrica, il quale, agendo sulla sfera del pendolo con attrazioni intermittenti, valesse a renderne durevoli e di pressochè eguali ampiezze le oscillazioni, senza apportare alcuna influenza sul moto del piano d'oscillazione.

Una simile idea venne pure al signor Foucault, il quale ebbe la fortuna di vederla attuata dall'abilissimo artefice Froment, tanto che potè presentare all'esposizione universale di Parigi un ingegnoso modello, pel quale le leggi del moto del piano d'oscillazione del suo pendolo venivano pienamente verificate. In questo apparato il pendolo era formato da una grossa sfera di ferro battuto, per quanto possibile omogenea e centrata, sospesa per mezzo d'un filo d'acciajo: un'elettro-calamita agiva su questa sfera durante la sua caduta, cospirando così colla gravità, mentre ne cessava ogni azione durante l'ascesa della sfera. La figura 376 fa vedere com'era costituito questo apparato. A rappresenta la sfera di ferro, ter-

314. La seconda esperienza di Foucault è fondata su questo principio di meccanica, che se un corpo solido, simmetrico ri-

minàta inferiormente con un'appendice *a*, pur essa di ferro: al di sotto di questa sfera, supposta in riposo, è collocata un'elettro-calamita *b*, formata da un cilindro di ferro dolce intorno a cui si avvolge il filo induttore di rame rivestito di seta; essa è sostenuta da una molla a spira *c*, e nel prolungamento inferiore del suo asse porta un'asticella *d*, la quale è impegnata in un'incavatura praticata in una leva metallica orizzontale *e f*, imperniata ad un estremo *e*, mentre coll'altro estremo *f* si appoggia ad un'altra asticella metallica, comunicante, per mezzo di un filo, con uno dei poli della pila, che per fissare le idee riterremo essere il negativo *n*: la molla *c* conserva la comunicazione tra la leva *e f* e questo filo, la quale viene tolta qualora l'elettro-calamita *b* venga sufficientemente sollevata. Al di sotto della leva metallica *e f* trovasi un'altra elettro-calamita *g*, più piccola della prima, la quale, quand'è in istato magnetico, colla sua estremità superiore attrae a sè l'àncora *h*, formata da un pezzo di ferro dolce attaccato al braccio maggiore d'una seconda leva, il cui braccio minore piegato a squadra è congiunto con una molla spirale *l*, che al cessare dello stato magnetico dell'elettro-calamita *g* obbliga l'àncora *h* a staccarsene. L'estremo *m* del braccio maggiore di questa seconda leva termina con una specie di becco o nottolino, il quale, quando l'àncora *h* è attratta dall'elettro-calamita *g*, viene a spingersi tra i denti d'una ruota a sega, e premendovi sopra la mette in moto; questo moto si comunica poi ad un sistema di altre ruote e ad un volante a palette, il quale modera l'impulsione data dal nottolino e impedisce che le ruote girino con troppa velocità. Il filo induttore dell'elettro-calamita *b* con un suo estremo comunica direttamente col polo positivo *p* della pila, coll'altro estremo raggiunge il braccio minore *l* della seconda leva, la quale, quando l'àncora *h* è attaccata all'elettro-calamita *g*, col braccio maggiore è in comunicazione col filo che va al polo negativo; altrimenti questa comunicazione è tolta: nel primo caso quindi il circuito è chiuso, e l'elettro-calamita *b* rimane magnetizzata; nel secondo caso si apre il circuito, e cessa lo stato magnetico di questa elettro-calamita. Il filo induttore dell'elettro-calamita *g* con un estremo comunica pure direttamente col polo positivo della pila, e coll'altro estremo comunica col perno *e* della prima leva; per cui è chiuso in esso il circuito quando l'elettro-calamita *b* è tenuta nella sua naturale posizione dalla molla *c*, il circuito è aperto quando questa elettro-calamità viene a sollevarsi.

Fig. 376.

spetto ad un asse, riceva un moto di rotazione intorno a quest'asse; e se in appresso nessuna forza venga ad agire sopra

Ciò premesso, ecco qual'è la sua maniera d'agire durante le oscillazioni del pendolo. Quando la sfera del pendolo è all'estremità della sua escursione ascendente, sono chiusi i circuiti nei fili induttori di ambedue le elettro-calamite, per cui ambedue trovansi magnetizzate. L'elettro-calamita *b* attrae quindi la sfera del pendolo, e insieme ne è attratta; laonde la sfera del pendolo è sollecitata a discendere e dalla gravità e dall'attrazione dell'elettro-calamita *b*, e s'avvicina ognor più a questa sollevandola colla sua attrazione; e quando vi passa al di sopra, questa è di tanto sollevata che viene tolta la comunicazione della leva *e f* col filo che va al polo negativo; cessa pertanto lo stato magnetico nell'elettro-calamita *g*, se ne distacca quindi l'áncora *h*, e insieme cessa lo stato magnetico nell'elettro-calamita *b*, la quale perciò torna a discendere per il suo peso e per l'azione della molla *c*. Così verrebbe a chiudersi di nuovo il circuito nel filo induttore dell'elettro-calamita *g*; se non che il nottolino *m*, impegnandosi tra i denti della ruota a sega, non può discendere d'un tratto, tanto più che il moto della ruota è ritardato dalla resistenza prodotta dal moderatore a palette; e ne viene essere necessario un certo tempo affinchè il detto circuito torni effettivamente a chiudersi: la resistenza del moderatore fu così determinata che un tal tempo è quel medesimo che occorre al pendolo per compiere la sua semi-oscillazione ascendente. All'istante in cui il pendolo ricomincia a discendere, questo circuito è chiuso; vien quindi attratta l'áncora *h*, si chiude insieme il circuito nel filo induttore dell'elettro-calamita *b*, e questa torna a manifestare la sua attrazione sulla sfera del pendolo.

È facile comprendere che, mediante un tale sistema, il pendolo deve continuare indefinitamente le sue oscillazioni isocrone, almeno finchè la pila trovasi in attività; e si può quindi verificare il tempo che il piano di oscillazione del pendolo impiega a compiere un'intiera rotazione.

L'autore ha già fatto vedere che i tempi che il piano d'oscillazione d'un pendolo impiega a compiere un' intiera rivoluzione nei punto A della superficie terrestre ed al polo P (fig. 373) sono in ragione inversa delle rette O C, O B. Ora si scorge facilmente che il rapporto che esiste fra queste rette è quel medesimo che passa tra P O ed A G, le quali rette si chiamano i *seni delle latitudini*, corrispondenti ai punti P, A: donde viene che il tempo che impiega il piano d'oscillazione di un pendolo a compiere una intiera rivoluzione è in ragione inversa del seno della latitudine del luogo in cui il pendolo medesimo oscilla; o, ciò che è lo stesso, la quantità di rotazione che nello stesso tempo compie il piano d'oscillazione di un pendolo in un dato luogo è proporzionale al seno della latitudine di questo luogo. Così mentre al polo il piano d'oscillazione del pendolo compie un intiero giro in 24 ore sideree, vale a dire in 23^{ore} 56′ 4″, 09 di tempo medio, a Milano, vale a dire alla latitudine di 45° 28′, lo compie in 33^{ore} 34′ 33″ 9, e nel tempo medesimo di 24 ore sideree non percorre che un arco di 257° 19′ 33″, 3: alla latitudine di 0° 9′ 23″, 2, il tempo impiegato dal piano d'oscillazione d'un pendolo a compiere un intero giro

questo corpo per modificare il moto che gli venne impresso, esso continua indefinitamente a ruotare intorno a questo mede-

sarebbe un intero anno tropico di giorni 365,242264. Alla latitudine di Milano pertanto il piano d'oscillazione d'un pendolo non si sposta che di un angolo di 10° 43′ 18″, 9 in un'ora, mentre la terra per la sua rotazione descrive 15° nel medesimo tempo. Da ciò si vede altresì che si potrebbe impiegare lo spostamento apparente del piano d'oscillazione d'un pendolo come misuratore del tempo. A tal fine a Milano, p. e., si potrebbe dividere la circonferenza di un cerchio in archi successivi, ciascuno de' quali fosse di 10° 43′ 18″, 9, e numerare questi archi con ore successive, come si fa sulla mostra d'un orologio per archi di 15° ciascuno; fissare poscia il cerchio in un piano orizzontale al di sotto del pendolo, per modo che il suo centro cadesse nella verticale corrispondente al punto di sospensione del pendolo medesimo, e ad una data ora far oscillare il pendolo in guisa che il piano d'oscillazione passasse pel punto della circonferenza segnata coll'ora medesima; nello spostarsi che farà il piano d'oscillazione verrà sempre ad indicare l'ora precisa, quando per altro le oscillazioni non soffrano perturbazione alcuna da causa esteriore. Siccome però le 24 ore su questa mostra di nuova specie non vengono a comprendere l'intiera periferia, così in capo alle 24 ore sarà d'uopo far girare il cerchio al di sotto del pendolo, a fine di mantenere la corrispondenza fra l'ora segnata dal piano d'oscillazione del pendolo e il tempo.

Nella seguente tavoletta sono dati, per ogni cinque gradi di latitudine, il tempo che impiega il piano d'oscillazione d'un pendolo a compiere un intiero giro, non che lo spostamento che subisce nella durata d'*un giorno medio*, da cui si può dedurre facilmente lo spostamento che subisce in un'ora o in qualsiasi altro intervallo di tempo.

LATITUDINE	TEMPO MEDIO che impiega il piano d'oscillazione di un pendolo a fare un intiero giro.			SPOSTAMENTO del piano d'oscillazione d'un pendolo in un giorno medio.	
0°	. . .	. . .	. . .	0°	0′, 0
5	11 giorni	10 ore	37′,0	31	27, 7
10	5	17	50, 0	62	41, 1
15	3	20	28, 5	93	23, 8
20	2	21	58, 8	123	27, 9
25	2	8	38, 0	152	33, 5
30	1	23	32, 1	180	29, 6
35	1	17	43, 7	207	3, 2
40	1	13	14, 1	232	2, 2
45	1	9	30, 9	255	15, 3
50	1	7	14, 6	276	31, 9
55	1	5	13, 1	295	42, 1
60	1	3	38, 2	312	37, 4
65	1	2	24, 3	327	9, 8
70	1	1	28, 2	339	12, 9
75	1	0	46, 7	348	41, 1
80	1	0	18, 2	355	30, 1
85	1	0	1, 2	359	36, 7
90	0	23	56, 1	360	59, 1

simo asse di simmetria, il quale in oltre conserva una direzione invariabile nello spazio. Si comprende che, producendo un tal moto di rotazione in un corpo simmetrico rispetto ad un asse, e in oltre ponendo questo corpo, situato sulla superficie della terra, in tali condizioni che l'azione della gravità che si esercita sopra di esso non possa turbarne il moto in guisa alcuna, l'invariabilità di direzione del suo asse di rotazione renderà manifesti i successivi cambiamenti di posizione che provano gli oggetti terrestri vicini in conseguenza della rotazione della terra sopra sè stessa. Se l'asse di rotazione del corpo sembrasse immobile rispetto a questi oggetti che lo circondano, ciò deriverebbe dal partecipare anch'esso al moto di rotazione della terra intorno alla linea dei poli, e in conseguenza anch'esso cambierebbe successivamente di direzione nello spazio: l'invariabilità della sua direzione nello spazio deve dunque farlo sembrare in moto agli osservatori situati sul globo terrestre, i quali insieme a questi ruotano intorno alla linea dei poli: quest'asse pertanto deve sembrare che ruoti intorno all'asse del mondo in verso contrario al moto di rotazione della terra, assolutamente come le stelle, il cui moto diurno non è che un'apparenza dovuta alla stessa cagione; e sembrerebbe immobile soltanto nel caso in cui l'asse di rotazione del corpo avesse la medesima direzione dell'asse del mondo.

Ecco come Foucault dispose l'apparecchio, cui diede il nome di *giroscopio*, e che è destinato a constatare l'esistenza di questo moto apparente dovuto alla rotazione della terra. Un disco metallico *a a* (fig. 377, 378), è montato sopra un asse *b b*, che è fissato nel suo centro e perpendicolarmente alle sue facce laterali: questo disco, molto pesante, porta tutto intorno un rigonfiamento, affinchè la materia ond'è costituito venga, per quanto è possibile, riferita alla sua circonferenza: l'asse *b b* è sostenuto alle sue estremità da due perni intorno ai quali il disco *a a* può ruotare liberamente; e questi due perni sono portati da un anello *c c*, munito di due coltelli *d*, *d*, analoghi al coltello di sospensione d'un'asta di bilancia. I coltelli *d*, *d* s'appoggiano coi loro spigoli ad incavi praticati nei due punti opposti dell'anello verticale *e e*; il qual anello è finalmente sospeso ad un filo alquanto lungo, per cui può ruotare facilmente intorno alla verticale secondo cui trovasi disposto questo filo; e per evitare che quest'anello, con tutto quanto esso porta, possa oscillare come un pendolo sotto l'azione della menoma causa che lo tolga dalla sua posizione d'equilibrio, lo si è munito inferiormente d'una punta dilicata che penetra in un foro abbastanza

argo perchè vi possa ruotare liberamente senza provare sfregamento. Per questo modo di sospensione del disco *a a* e del-

Fig. 378

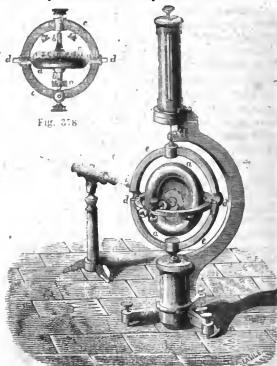



Fig. 377.

l'asse *b b*, che fa corpo con esso, si può evidentemente far variare la direzione di quest' asse *b b* in tutti i modi possibili. Facendo ruotare l' anello *e e* intorno alla verticale che passa per il filo di sospensione e per la punta inferiore, si può condurre l'asse *b b* ad essere diretto in un piano verticale qualunque; e facendo quindi ruotare l'anello *c c* intorno agli spigoli dei coltelli *d*, *d*, si può ad arbitrio far variare l' inclinazione dell' asse *b b*; è questi due moti possono eseguirsi senza che ne risulti sensibile sfregamento.

L'apparecchio venne costruito colla massima cura, in guisa che il centro di gravità del disco *a a* trovisi esattamente sul suo asse di rotazione, e il centro di gravità dell'anello *c c* caricato del disco trovisi pure esattamente sull'asse formato dagli spigoli

dei due coltelli *d*, *d*. Ne risulta: 1.º che l'azione della gravità non ha influenza alcuna sul moto di rotazione del disco intorno al suo asse di figura; 2.º che quest'azione non tende in modo alcuno a far variare l'inclinazione dell'asse *b b*, facendo ruotare l'anello *c c* intorno alla linea di sospensione formata dagli spigoli dei coltelli *d*, *d*.

Per eseguire l'esperienza si toglie la parte dell'apparecchio che è rappresentata da sola nella fig. 378, e la si colloca in una macchina speciale destinata a comunicare al disco *a a* un moto di rotazione rapidissimo, per mezzo della ruota dentata *o*. Quando questo disco è così messo in moto, lo si ricolloca coll'anello *c c* nella posizione indicata nella fig. 377. L'asse *b b* essendo diretto orizzontalmente, fa un angolo colla linea dei poli, e deve in conseguenza sembrare che si muova intorno a questa linea, come abbiamo spiegato; ma questo moto apparente non può aver luogo se anche l'anello *c c* non ruoti poco a poco intorno ai coltelli *d*, *d*, e nel medesimo tempo l'anello verticale *e e* non ruoti intorno al filo che lo porta. Quest'ultimo moto può venir osservato per mezzo d'un microscopio *m*, posto allato dell'apparecchio e diretto verso una piccola lastra divisa *i*, che è portata dall'anello *e e*: i segni di divisione di questa piccola lastra si vedono passare gli uni dopo gli altri dietro il punto d'incrociamento dei fili d'un reticolo adattato al microscopio, alla stessa precisa maniera che le stelle osservate mediante il cannocchiale meridiano muovonsi rispetto ai fili del reticolo di questo cannocchiale (80).

315. Densità media della terra. — Mediante la teoria della gravitazione universale siamo giunti a trovare le masse del sole e dei pianeti, riferite ad una di esse presa come unità (298). Basterà pertanto determinare la massa di uno di questi corpi in confronto alle masse dei corpi che ci vediamo d'intorno, perchè ne derivi la piena cognizione di tutte le altre masse. Naturalmente una tale determinazione deve riguardare la massa della terra; ma invece di cercare un numero che rappresenti la massa intiera del globo, giova cercare a preferenza la *densità media* di questo globo, vale a dire la densità che esso avrebbe in tutti i suoi punti se fosse omogeneo e la sua massa fosse eguale a quella che è in realtà; giacchè dalla densità media della terra combinata col suo volume si potrà dedurre all'occorrenza il valore della sua massa.

La densità media della terra venne determinata da Cavendish, e l'apparecchio di cui fece uso a questo fine è rappresentato dalle

figure 379, 380. Due piccole sfere di piombo x, x sono sospese alle estremità d'un regolo orizzontale $h\ h$, portato nel suo mezzo

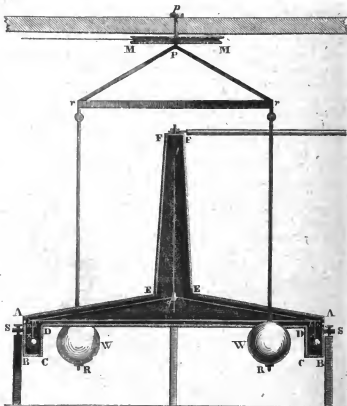



Fig 379.

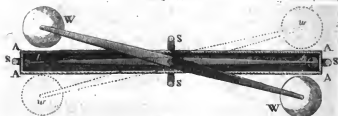



Fig. 380.

da un filo metallico verticale *l g m*; due fili metallici *g h* sono destinati ad impedire la flessione del regolo *h h* sotto il peso di queste sfere. Il filo di sospensione *l g m*, i fili obbliqui *g h*, il regolo *h h* e le sfere *x*, *x*, sono chiuse in una scatola leggera A B C D E F, affine d'evitare l'influenza della menoma agitazione dell'aria d'intorno; e questa scatola è sostenuta da quattro supporti verticali S, S. Due sfere di piombo W, W, molto più grosse delle prime, sono sospese a due verghe verticali, riunite verso l'alto dal pezzo *r* P *r*, che termina con una chiavarda *p*, la quale attraversa una trave fissa: il pezzo *r* P *r* può ruotare intorno alla chiavarda *p* insieme alle sfere W, W ch'essa sopporta, in guisa da avvicinarle più o meno alle piccole sfere *x*, *x*; e per mezzo di questa disposizione si possono inoltre condurre le sfere W, W nelle posizioni inverse *w*, *w*.

Ecco ora su quale principio sono fondate le esperienze eseguite con quest'apparecchio. Supponiamo che la leva orizzontale *h h* assuma naturalmente la posizione d'equilibrio, e trovisi nel mezzo della larghezza della scatola nella quale è contenuta, mentre ciascuna delle grandi sfere è situata ad egual distanza dalle due piccole sfere *x*, *x*, vale a dire mentre sono collocate nel piano verticale perpendicolare alla lunghezza della leva *h h*. Se si conducono le due grandi sfere nelle posizioni W, W, esse attirano a sè le sfere *x*, *x*, e fanno così ruotare la leva orizzontale *h h* d'una certa quantità intorno al suo mezzo, ciò che non può accadere senza che il filo *l g* provi una leggera torsione: le sfere *x*, *x* si fermano perciò in una tal posizione che le attrazioni esercitate dalle sfere W, W vengano elise dalla torsione del filo *l g*. Conducendo in appresso le due grandi sfere nelle posizioni *w*, *w*, le piccole sfere *x*, *x* sono ancora attirate da esse, e il filo *l g* trovasi torto in contrario verso. È chiaro che se le posizioni delle grandi sfere W, W e *w*, *w* sieno tali che le loro distanze dalle estremità A, A della scatola siano esattamente eguali fra loro, l'angolo totale onde la leva *h h* ha ruotato intorno al suo mezzo per passare dalla prima posizione d'equilibrio alla seconda è esattamente il doppio dell'angolo compreso tra ciascuna di queste posizioni e la posizione che assumerebbe la leva *h h* nel caso in cui le sfere *x*, *x* non provassero alcun'azione da parte delle altre sfere; la metà di quest'angolo totale è precisamente l'angolo di torsione del filo *l g*, determinato dall'attrazione che le grandi sfere esercitano in ciascuno dei due casi sulle sfere *x*, *x*. Conosciuto quest'angolo, si può calcolare la resistenza che il filo *l g* oppone alla leva *h h* a cagione della

torsione che prova, e per conseguenza la grandezza della forza d'attrazione di ognuna delle sfere W, W sulla sfera vicina *x*. Confrontando in appresso questa forza d'attrazione col peso di una delle sfere *x*, che altro non è che l'attrazione esercitata dalla terra intiera su questa sfera, e tenendo conto del rapporto che esiste tra la distanza dei centri delle due sfere *x*, W e il raggio della terra, si può dedurne il rapporto tra le masse della terra e della sfera W; trovato il qual ultimo rapporto se ne deduce immediatamente il valore della media densità della terra.

Per conoscere la resistenza opposta dal filo *l g* quando venne torto d'una certa quantità, basta togliere la leva *h h* dalla sua posizione naturale d'equilibrio, poi abbandonarla a sè stessa: la torsione del filo *l g* la riconduce alla sua primitiva posizione; ma essa sorpassa bentosto questa posizione in virtù della velocità acquistata, e il filo, torcendosi in verso contrario, riduce ben presto a zero questa velocità, riconduce di nuovo la leva verso la sua posizione d'equilibrio, e così di seguito: in una parola la leva *h h* eseguisce una serie d'oscillazioni da una parte e dall'altra di questa posizione. Essendo queste oscillazioni determinate dalla resistenza che il filo esercita sulla leva *h h* in virtù della sua torsione, la quale ha luogo ora in un verso, ora nell'altro, la loro durata dipende dall'energia di questa resistenza, e può servire a determinarne la grandezza. Osservando pertanto la durata delle oscillazioni orizzontali della leva *h h*, se ne deduce il valore della resistenza che il filo *l g* oppone alla torsione per ogni angolo di spostamento della leva *h h*, e mediante questa cognizione si giunge ad avere la grandezza dell'attrazione esercitata da ciascuna delle grandi sfere W, W sulla piccola sfera vicina, come sopra fu detto.

Gli effetti che importa osservare in queste esperienze sono tanto piccoli che si è costretti d'usare tutte le imaginabili precauzioni perchè non solo non vengano turbati, ma nè pure totalmente occultati da cause accidentali, quali sarebbero il moto dell'aria e le variazioni di temperatura. Cavendish pertanto dispose il suo apparecchio in una camera chiusa (fig. 381), nella quale non occorreva di entrare; e per mezzo di cannocchiali T, T osservava dal di fuori sia lo spostamento permanente della leva *h h* sotto l'azione delle due grandi sfere di piombo, sia le oscillazioni di questa leva sotto la sola azione della torsione del filo *l g*. Due piccoli regoli orizzontali divisi *n*, *n* (fig. 389) erano adattati alle estremità della leva *h h*, e muovevansi con essa dietro due piccole aperture per le quali potevansi vedere per mezzo de'

cannocchiali T, T: due lampade L, L projettavano della luce sopra questi due piccoli regoli *n*, *n*, ed un'asta orizzontale terminata

Fig. 384.

da un bottone K era in comunicazione, mediante l'altra sua estremità, col supporto del filo verticale *l g*: facendo ruotare il bottone K facevasi ruotare nello stesso tempo questo supporto intorno ad un asse verticale, e così potevasi fare in modo che la leva *h h* si tenesse esattamente nel mezzo della larghezza della scatola quando il filo verticale *l g* non provava alcuna torsione. Finalmente una fune s'avvolgeva alla gola d'una carrucola M M fissata orizzontalmente al di sopra del pezzo *r* P *r*; i due cordoni che si distaccavano da una parte e dell'altra escivano dalla camera passando per due piccole aperture laterali; ognuno di essi s'avvolgeva alla gola d'una carrucola verticale *y*, e sopportava de' corpi pesanti destinati a dargli una conveniente tensione: bastava tirare uno di questi due cordoni perchè la puleggia M M ruotasse, traendo seco le due sfere W, W; per il che si potevano disporre queste due sfere come volevasi rispetto al resto dell'apparecchio.

Le esperienze di Cavendish vennero dappoi riprese a Freyberg da Reich, che vi apportò ancora cure maggiori. Esso trovò così che la media densità della terra è uguale a 5, 44, prendendo per unità la densità dell'acqua; il qual risultato pochissimo differisce da quello già ottenuto da Cavendish. La densità delle materie che compongono le diverse parti della superficie del globo terrestre è molto più debole di questa media densità, per cui è d'uopo concludere naturalmente che la densità della terra deve andar crescendo dalla superficie al centro. (*).

(*) Fu già veduto (§ 108, pag. 234) come, per l'attrazione delle montagne, la direzione del filo a piombo devii dalla verticale. I primi che po-

316. Densità dei pianeti. — Conosciuta la densità media della terra, si possono parimenti trovare le medie densità del sole, della luna e dei pianeti. Infatti dalla tavoletta a pag. 630 si conoscono i rapporti delle masse di questi diversi corpi alla massa della terra, e se ne possono dedurre i valori che assumerebbero questi rapporti di masse, se i volumi di tutti questi corpi venissero modificati in guisa da diventare tutti eguali al volume della terra senza che le medie loro densità subissero variazione: questi rapporti delle masse a eguaglianza di volume sono evidentemente anche i rapporti delle medie densità corri-

terono osservare una simile deviazione furono Bonguer e La Condamine nel 1737, nel Perù, i quali poterono determinare che, per l'attrazione del Chimboraço, il filo a piombo deviava dalla verticale di un angolo di 7″ 5: in appresso Maskelyne, nel 1774, trovò che il monte Sehallien in Scozia produceva nel filo a piombo una deviazione dalla verticale di 5″ 8. Molte altre simili deviazioni vennero posteriormente osservate e determinate dal P. Beccaria, da Boscowich, dal Barone de Zach, ecc.; e Newton aveva già predetto che un monte conico avente la stessa densità della terra e l'altezza di circa 5000 metri (3 miglia inglesi) avrebbe prodotto nel filo a piombo una deviazione di 2″ dalla verticale, mentre Poisson ebbe a dimostrare che una deviazione di 1″ sarebbe prodotta da una sfera omogenea del raggio di 31 metri ed avente la densità eguale alla media terrestre.

Mediante la misura di simili deviazioni, e conosciuta la massa della montagna che la produce, dedotta dal suo volume e dalla sua struttura geologica, si potè desnmere la densità della terra. Così dalle osservazioni citate di Maskelyne, il sig. Playfair, mediante un accurato esame della natura geologica del monte Sehallien, trovò potersi ritenere la densità della terra rappresentata con 4, 71.

Il cav. Carlini, nel settembre 1821, dalla lunghezza del pendolo che batte i secondi sulla sommità del monte Cenisio, paragonata alla lunghezza che il pendolo stesso doveva avere, tenendo conto soltanto della diminuzione della gravità derivante dalla maggior altezza sul livello del mare e calcolando la massa del monte sul quale erano fatte le osservazioni, cercò pure di determinare la densità della terra. Dietro un più accurato esame della natura geologica del monte Cenisio, il professor Giulio di Torino corresse opportunamente i risultati del cav. Carlini, e giunse ad ottenere per questa densità 4, 95.

Certo è che i risultati ottenuti con questi due metodi non concordano esattamente con quelli ottenuti dalle esperienze di Cavendish e di Reich; ma le differenze sono bastantemente piccole, se si ha riguardo alle difficoltà che s'incontrano in siffatte determinazioni, qualunque ne sia il metodo, sebbene si ritenga comunemente doversi accettare come più esatte quelle derivanti dalle esperienze più dirette, quali sono quelle di Cavendish e di Reich.

spondenti; moltiplicando quindi il valor trovato della media densità della terra successivamente per ciascuno di questi rapporti, si otterranno le cercate densità. È in questa maniera che venne formata la seguente tavoletta.

NOME DEGLI ASTRI	DENSITA' media.	NOME DEGLI ASTRI	DENSITA' media.
Sole.	1,37	Giove.	1,29
Mercurio.	15,99	Saturno.	0,75
Venere.	5,02	Urano.	0,98
La Terra.	5,44	Nettuno.	1,21
Marte.	5,16	La Luna.	3,37

Vedesi che la media densità del sole non è guari superiore a quella dell'acqua, che quella di Urano ne è press'a poco eguale, e che quella di Saturno non ne è che tre quarti.

317. Scoperta della rotazione dell'anello di Saturno. — I diversi particolari che siamo andati sviluppando in alcune parti del presente capitolo non possono somministrare che una debole idea del modo onde la teoria della gravitazione universale diede ragione delle minime circostanze già scoperte nei moti degli astri per mezzo dell'osservazione. Tutte le ineguaglianze per le quali questi moti vennero successivamente allontanandosi dalla semplicità loro dapprincipio attribuita ottennero spiegazione mediante questa teoria, la quale non si è limitata unicamente a far conoscere la causa di ciascuna di esse, ma ne ha anche assegnate la grandezza e le leggi, senza che giammai i risultati da essa raggiunti siansi mostrati discordi dai fatti indicati dall'osservazione. Un tale accordo tra le ineguaglianze trovate dall'osservazione e quanto venne fatto in appresso conoscere dalla teoria rispetto a ciascuna di esse, costituisce per certo una gran prova in favore della teoria di Newton; ma una maggiore se ne incontra ancora in questo fatto notevole, che la teoria fece trovare molte ineguaglianze che dalla sola osservazione con molta fatica sarebbero state svelate, per modo che, dall'aggiunta di queste nuove ineguaglianze a quelle già conosciute, si potè giungere ad una assai più precisa cognizione del moto di ognuno dei corpi del sistema planetario. Citeremo qui due notevoli esempi di questi risultati indicati dalla teoria, e quindi pienamente confermati dall'osservazione. Il primo si

riferisce alla rotazione dell'anello di Saturno, il secondo alla scoperta del pianeta Nettuno.

Laplace, cercando spiegarsi la permanente esistenza dell'anello che circonda Saturno, venne condotto a pensare che questo corpo singolare non avrebbe potuto mantenersi per dei secoli nella posizione che occupa rispetto al pianeta se non fosse animato da un moto di rotazione nel suo piano e intorno al suo centro. La forza centrifuga derivante da questo moto di rotazione, combinandosi coll'attrazione che i corpi posti alla superficie dell'anello provano da parte del pianeta e dell'anello medesimo, può mantenere tutti questi corpi in equilibrio; mentre se l'anello non ruotasse, le diverse parti che lo compongono cederebbero poco a poco all'attrazione del pianeta, e cadrebbero successivamente sulla sua superficie, ciò che condurrebbe ben presto alla totale distruzione dell'anello. Laplace ha calcolato la velocità colla quale doveva eseguirsi il moto di rotazione dell'anello perchè l'equilibrio di cui abbiamo parlato potesse aver luogo, e ne dedusse il tempo che l'anello impiega a fare un intero giro sopra sè stesso.

D'altra parte Herschel, che mediante i suoi potenti strumenti osservava assiduamente i lievi cambiamenti d'apparenza dell'anello, trovò ch'essi indicavano una rotazione di questo anello nel suo piano, e potè dedurne la velocità di questo moto.

I due dotti, operando così nello stesso tempo l'uno all'insaputa dell'altro e con mezzi tanto diversi, trovarono, per la durata della rotazione dell'anello di Saturno, due numeri che sono quasi identicamente gli stessi. (*).

(*) Nel 1827 Schwabe di Dessau ha scoperto anche la posizione eccentrica di Saturno, rispetto ai suoi anelli; il che venne in appresso verificato, mediante misure micrometriche, da Harding, Struve, Giovanni Herschel e South; per cui deriva che il centro di gravità degli anelli oscilla intorno al centro di gravità del pianeta, descrivendo una piccolissima orbita probabilmente molto complicata. Una tale scoperta è molto importante, avuto riguardo alla stabilità del sistema degli anelli, giacchè, supponendo ch'essi fossero esattamente circolari e concentrici al pianeta, sarebbe dimostrato facilmente che, ad onta della forza centrifuga generata dalla loro rotazione, formerebbero un sistema in istato di *equilibrio instabile*, il quale verrebbe alterato per la menoma azione di una forza esterne, precipitando gli anelli, anche senza romperli, sulla superficie del pianeta. Le attrazioni dei satelliti di Saturno sono forze esterne capaci di produrre una simile alterazione; ma queste medesime attrazioni danno al sistema eziandio il carattere della *stabilità*, elidendo continuamente la forza d'attrazione del pianeta che tenderebbe a farvi

318. **Scoperta del pianeta Nettuno.** — Bouvard, confrontando le formule trovate da Laplace pel moto di Urano colle posizioni nelle quali questo pianeta era stato osservato a diverse epoche, riconobbe che la teoria non andava d'accordo coll'osservazione. Le azioni perturbatrici onde Laplace aveva tenuto conto, e che emanavano sopra tutto da Giove e da Saturno, non potevano spiegare tutte le irregolarità che coll'osservazione si erano riconosciute nel moto del pianeta. Bouvard ebbe allora la felice idea di attribuire le perturbazioni d'Urano, delle quali non poteva dar ragione la teoria, all'azione d'un pianeta fino allora sconosciuto; ed egli diceva ancora essere persuaso che il diametro dell'orbita di questo pianeta era il doppio del diametro dell'orbita d'Urano, opinione fondata senza dubbio sulla legge di Bode (263), la quale infatti conduce assai prossimamente a questo risultato.

precipitare gli anelli. Pertanto il moto oscillatorio del centro di gravità degli anelli intorno al centro del pianeta deriva dalla continua e variabile azione attrattiva del pianeta, e insieme dei suoi satelliti sugli anelli medesimi.

Laplace, indagando quale doveva essere la forma dell'anello perchè potesse rimanere in equilibrio in virtù della mutua attrazione delle sue molecole, della loro gravità verso Saturno e della loro forza centrifuga, potè riconoscere che, ritenuta la larghezza dell'anello poco considerevole rapporto alla sua distanza dal centro di Saturno, la sezione fatta all'anello, mediante un piano passante per il centro del pianeta e perpendicolare alla superficie dell'anello, doveva essere un'ellisse avente l'asse maggiore diretto verso il centro del pianeta; sebbene una tale ellisse poteva essere variabile di grandezza e di posizione entro certi limiti, per tutta l'estensione della circonferenza dell'anello, tanto da presentare questo una diversa larghezza nelle sue diverse parti, od essere anche a doppia curvatura. Tali ineguaglianze vennero parimenti confermate dall'osservazione nelle diverse parti dell'anello, e servono anzi alla maggiore stabilità del sistema; e nel novembre 1850 il P. Secchi, dall'ombra del pianeta projettata sull'anello, potè argomentare l'incurvamento della superficie interiore dell'anello medesimo anche a seconda della sezione fatta da un piano passante pel centro del pianeta.

Finalmente Bond e Peirce, partendo dall'osservazione e dall'analisi matematica, s'accordarono nell'ammettere la fluidità dell'anello, e quindi continue variazioni nella forma e divisibilità dell'anello esteriore; e Peirce fu condotto ad ammettere eziandio doversi all'azione conservatrice dei satelliti, derivante dalla loro posizione, il mantenimento dell'equilibrio del sistema, malgrado le ineguaglianze dell'anello. La fluidità poi dell'anello non contradirebbe a quanto è noto sulla densità del pianeta Saturno, ammontando questa densità, come fu veduto, solo a $\frac{3}{4}$ di quella dell'acqua (316).

L'idea emessa da Bouvard nel 1821 venne da tutti gli astronomi considerata come verisimile. Leverrier, ripreso il confronto della teoria coll'osservazione, ed assicuratosi da sè stesso che l'azione dei pianeti conosciuti non poteva spiegare tutte le perturbazioni d'Urano, si fece a determinare la posizione che il pianeta incognito doveva occupare nel cielo onde produrre le perturbazioni di cui non potevasi render ragione. D'altra parte Adams, studente allora dell'università di Cambridge (Inghilterra), si abbandonò del pari all'esame di questa quistione, senza che nè Leverrier nè esso punto dubitassero che si occupavano nel medesimo tempo della stessa ricerca. Questi due dotti vennero così condotti separatamente ad assegnare il luogo ove doveva trovarsi il pianeta sconosciuto tra le costellazioni, e i loro risultati si accordarono quasi pienamente. Ma Leverrier pubblicò il suo lavoro prima di Adams; e il giorno medesimo (23 settembre 1846) in cui Galle di Berlino ne ricevette la notizia, diresse un cannocchiale verso il punto del cielo indicato da Leverrier, e vide infatti l'annunciato pianeta, cui poscia venne dato il nome di *Nettuno*: il luogo che esso occupava realmente era lontano di meno d'un grado dalla posizione assegnata dalla teoria. Non è possibile trovare una prova più luminosa in favore delle moderne teorie astronomiche.

CAPITOLO SETTIMO

DELLE STELLE E DELLE NEBULOSE

319. Dopo d'aver percorso nei precedenti capitoli tutto il circolo delle cognizioni che si posseggono relativamente al sistema planetario, più non ci rimane che esporre le nozioni che si poterono acquistare sul rimanente dell'universo, e sulla parte che vi rappresenta il sole col suo corteggio di pianeti e satelliti; che è quanto dobbiamo fare in quest'ultimo capitolo. Daremo dapprima alcun particolari su quanto l'osservazione ci fece conoscere relativamente alle stelle propriamente dette; poi ci occuperemo delle nebulose, il cui studio è tanto più importante e curioso in quanto che conduce ad idee probabilissime sulla formazione di tutti i corpi che discerniamo in mezzo all'immensità dello spazio.

STELLE

320. **Stelle colorate.** — La luce delle stelle è generalmente bianca come quella del sole; ma ve ne sono alcune che presentano una colorazione pronunciatissima. Possiamo citare segnatamente *Antarès* o il *Cuore dello scorpione*, *Aldébaran*, *Polluce* ed *α d'Orione*, che sono rossastre; la *Capra* ed *Altaïr*, che sono leggermente gialle. Tra le stelle di minore splendore alcune hanno una tinta verde o bleu.

Risulta dalle indicazioni somministrate da molte opere dell'antichità che *Sirio* anticamente era rossastro: la luce di questa bella stella essendo attualmente di un bianco purissimo, si deve conchiuderne ch' essa ha perduta la colorazione che presentava una volta. È forse il solo esempio ben constatato del cambiamento di colore della luce d'una stella.

321. **Cambiamento di splendore delle stelle.** — Quando abbiamo parlato della costellazione dell' Orsa Maggiore (66) abbiamo detto che le sette stelle principali che la compongono

sono di 2.ª grandezza, ad eccezione di δ che è di 3.ª grandezza. All'epoca in cui Bayer pubblicò le sue carte celesti, nel 1603, la successione delle lettere α, β, γ, δ, ..., mediante le quali designavansi le stelle più brillanti d'ogni costellazione, indicava il posto che queste diverse stelle occupavano le une rispetto alle altre, avuto riguardo al loro splendore: α applicavasi alla stella il cui splendore era vivissimo, β a quella che brillava immediatamente dopo la prima, γ alla seguente, e così di seguito (65). È chiaro da ciò che a quest'epoca la stella δ dell'Orsa Maggiore era più brillante delle stelle ε, ζ, η della stessa costellazione; e siccome essa è ora d'uno splendore molto inferiore a quello di queste tre stelle, devesi conchiuderne che la sua luce si è notabilmente indebolita (*).

Si ha un numero abbastanza grande d'esempi di stelle il cui splendore ha notabilmente variato da un'epoca più o meno lontana. Per alcune lo splendore si è affievolito, come per la stella dell'Orsa Maggiore di cui abbiamo parlato, e molte sono anche totalmente scomparse dal cielo: altre al contrario sono diventate più brillanti che non erano dapprima.

522. **Stelle periodiche.** — Vi ha un certo numero di stelle il cui splendore varia periodicamente. Una delle più notevoli è *Algol*, o β *di Perseo*, il cui splendore varia dalla 2.ª grandezza alla 4.ª grandezza. Per la durata di 2 giorni 14 ore, questa stella è di 2.ª grandezza, senza che il suo splendore sembri cambiare; in capo a questo tempo la sua luce comincia ad affievolirsi, e decresce fino alla 4.ª grandezza, nell'intervallo di circa 3 ore e mezza; in appresso il suo splendore aumenta di nuovo, e dopo uno stesso intervallo di tempo di circa 3 ore e mezza torna ad essere di 2.ª grandezza: da questo istante essa rimane ancora invariabile per 2 giorni e 14 ore, decresce di nuovo, poi ritorna al suo primitivo splendore, e così di seguito. La durata totale di ciascuno di questi periodi successivi è di 2 giorni, 20 ore, 48′.

La stella o (*Mira*) della costellazione *della Balena* è parimenti periodica; ma il periodo delle sue variazioni è molto più lungo. e inoltre il suo splendore diminuisce cotanto in ogni periodo da diventare affatto invisibile durante un certo tempo. Dopo d'aver brillato come una stella di 2.ª grandezza per circa 15 giorni, la sua luce diminuisce a poco a poco per circa tre mesi; e in

(*) Sebbene sia comprovato l'indebolimento della luce di alcune stelle, non si può dire che ciò sia assolutamente avvenuto della stella δ dell'Orsa Maggiore. Veggasi per ciò la nota a pag. 140.

appresso scorrono quasi cinque mesi senza che si possa discernerla, poi ricomparisce e impiega ancora press'a poco tre mesi a riacquistare il suo maggior splendore. La durata totale del periodo delle sue variazioni è di 334 giorni. Queste successive modificazioni della stella di cui si tratta non avvengono però sempre alla stessa maniera; quando raggiunge il suo massimo splendore non è sempre di 2.ª grandezza, ma spesso si ferma alla 3.ª grandezza. La durata del suo maggior splendore e i tempi ch'essa impiega sia a decrescere sino alla totale scomparsa, sia a crescere dopo la sua riapparizione, variano in generale da un periodo all'altro.

Tra le stelle periodiche si possono citare *δ di Cefeo*, che varia dalla 3.ª alla 5.ª grandezza, ed il cui periodo è di 5 giorni, 8 ore, 37′; *β della Lira*, che varia dalla 3.ª alla 5.ª grandezza, e il cui periodo è di 6 giorni, 9 ore, 0′; *η d'Antinoo*, che varia dalla 4.ª alla 5.ª grandezza, e il cui periodo è di 7 giorni, 4 ore, 15′; *α d'Ercole*, che varia dalla 3.ª alla 4.ª grandezza, e il cui periodo è di 60 giorni, 6 ore; *χ del Cigno*, che varia dalla 6.ª alla 11.ª grandezza, e il cui periodo è di 396 giorni, 21 ore; la 34.ª *del Cigno*, che è ora di 6.ª grandezza, ora affatto invisibile, e il cui periodo è di 18 anni (*).

Si è cercato di spiegare il periodico cambiamento di splendore che provano le stelle di cui abbiamo parlato, ammettendo o che queste stelle ruotino sopra sè stesse, e così ci mostrino successivamente parti della loro superficie che non sono egualmente brillanti, od anche ch'esse sieno circondate da satelliti i quali circolino intorno ad esse, e che di tempo in tempo vengano a frapporsi fra esse e noi, in modo da produrre dei veri ecclissi. Ma non sono queste che semplici congetture, cui non devesi attaccare che poca importanza.

323. Stelle temporarie. — La sera dell'11 novembre 1572, Tycho-Brahé, uscendo dal suo osservatorio d'Uranienborg per

(*) Oltre le stelle citate dall'autore, moltissime altre sono periodiche; fra queste rimarchevole specialmente è *η d'Argo*, visibile soltanto nell'emisfero meridionale, la quale passa dalla 4.ª grandezza alla 1.ª. Nel 1843, al Capo di Buona Speranza ed a Calcutta fu veduta sorpassare in luce persino Canopo e quasi eguagliare Sirio.

Pare che le variazioni di queste stelle non seguano un unico periodo, come facilmente risulta dall'andamento indicato per *β di Perseo*: si ritiene più probabile che queste variazioni risultino da un periodo costituito dall'insieme di più periodi diversi. Quanto a *β di Perseo* sembra ad Argelander che il periodo totale delle sue variazioni vada continuamente diminuendo in lunghezza.

ritornare a casa, incontrò un gruppo di persone occupate ad osservare in cielo una stella di vivissimo splendore, la quale trovavasi nella costellazione di Cassiopea, in un posto ove fino allora non ne era esistita alcuna; ed è certo che se fosse stata visibile mezz'ora prima, Tycho-Brahé l'avrebbe veduta dal suo osservatorio: l'apparizione di questa stella era stata adunque affatto subitanea, e in alcuni istanti essa aveva acquistato uno splendore paragonabile a quello di Sirio (*). A partire da questo momento il suo splendore andò aumentando fino a sorpassare quello di Giove in opposizione, e divenne anche visibile di pieno giorno; in capo ad un mese, nel dicembre 1572, la sua luce cominciò a decrescere progressivamente, e nel mese di marzo 1574 era totalmente scomparsa. Per tutto il tempo che la si potè vedere, essa conservò una posizione invariabile rispetto alle stelle vicine.

Questa stella del 1572 non è il solo esempio di fenomeni di questo genere. Possiamo citare tra le altre la stella che si mostrò improvvisamente nel cielo l'anno 125 prima di Gesù Cristo, e che avendo fissata l'attenzione d'Ipparco, fu cagione per cui questi intraprendesse il suo catalogo di stelle: una stella che apparve nell'anno 389, vicino ad α dell'Aquila, la quale per tre settimane ebbe uno splendore pari a quello di Venere, e che in appresso disparve affatto: una stella brillantissima che si ebbe a discernere il 10 ottobre 1604 nella costellazione del Serpentario, e che rimase visibile per un anno (**). Una stella di 3.ª grandezza apparve nel 1670 nella testa del Cigno; essa disparve bentosto, e si mostrò di nuovo, poi disparve ancora, dopo aver subito, nel periodo di due anni, alcune alternative d'incre-

(*) Il fatto è diversamente narrato da Tycho-Brahé medesimo. Secondo la sua asserzione, Tycho-Brahé, di ritorno dalla Germania nelle isole Danesi, erasi fermato nell'antico chiostro di Herritzwaldt, appartenente a suo zio Steno-Bille; e mentre dal suo laboratorio di chimica contemplava il cielo, ravvisò con stupore, vicino allo zenit in Cassiopea, la nuova stella di straordinaria grandezza; e a convincersi che non era un'illusione volle la testimonianza degli operai occupati nel suo laboratorio. Seppe più tardi che alcuni cocchieri ed altre persone del popolo avevano in Germania osservata l'apparizione della stella ancor prima di lui. (Humboldt, *Cosmos.*)

(**) Come la stella del 1572 porta il nome di Ticho-Brahé, questa è celebre sotto il nome di *stella di Keplero*, sebbene non sia stata scoperta dallo stesso Keplero, ma dal suo allievo Giovanni Brunowscki, di Boemia, il giorno 10 ottobre 1604. La sua luce giunse a sorpassare quella delle stelle di prima grandezza, di Saturno e di Giove, ma rimase meno brillante di Venere.

mento e diminuzione: dopo quest'epoca non la si è più riveduta (*).

Nulla si sa sulla causa di queste apparizioni e disparizioni di stelle, talvolta tanto subitanee.

324. **Stelle doppie, triple.** — Molte stelle, osservate ad occhio nudo, od anche per mezzo di cannocchiali di debole ingrandimento, appariscono come semplici punti luminosi, mentre, vedute per mezzo di forti cannocchiali, si separano in due: ognuna di esse si compone di due stelle vicinissime, che si confondono per modo da porgere l'apparenza di un'unica stella, finchè non si ricorre ad istrumenti di maggior ingrandimento. Questa grande vicinanza di due stelle nel cielo potrebbe anche non esser altro che un effetto di prospettiva; potendo accadere che due stelle situate realmente ad una gran distanza l'una dall'altra appariscano vicine per essere quasi sulla medesima retta avente un estremo nella terra. Ma veramente ciò non s'incontra che per rarissima eccezione, e si riconobbe che nella maggior parte dei casi le due stelle che veggonsi vicinissime l'una all'altra sono realmente vicine nello spazio. Per formarsi un'idea del gran numero di stelle che presentano la singolarità ora notata basterà il dire che sopra 120 mila stelle osservate da Struve a Dorpat, quest'astronomo ne ha trovate 3057 doppie, vale a dire che per termine medio sopra 40 stelle ve ne ha una doppia. Tra queste stelle doppie Struve ne ha trovate 987 nelle quali la distanza angolare delle due stelle componenti era almeno di 4″; 675 nelle quali questa distanza era compresa tra 4″ e 8″; 659 nelle quali era compresa tra 8″ e 16″; e infine 736 nelle quali era maggiore di 16″ senza sorpassare 32″.

La continuata osservazione d'un certo numero di stelle doppie fece palese ad Herschel che i due elementi onde ognuna di esse è composta ruotano l'uno intorno all'altro; e nello stesso tempo la distanza angolare di questi due elementi aumenta e diminuisce periodicamente. Savary, avendo studiato accuratamente i cambiamenti successivi di posizione e di distanza delle due stelle onde si compone la stella doppia ξ dell'Orsa Maggiore, giunse a que-

(*) Il 28 aprile 1848 Hind, all'osservatorio particolare di Bishop in Regent-Park a Londra, scoperse nella costellazione del Serpentario una nuova stella di 5.ª grandezza, di color rossastro, la quale scomparve nel 1850. Non havvi altra stella per la quale sieno constatate come per questa la novità dell'apparizione e l'invariabilità nella posizione, che, dalle osservazioni fatte a Milano e ridotte al principio del 1849, risultò essere, *ascensione retta* 16^{ore} 51′ 2″, *declinazione australe* 12^{ore} 39′ 24″.

sto importante risultato, che il moto relativo di una di queste due stelle intorno all'altra si eseguisce conformemente alle due prime leggi di Keplero. In appresso per molte altre stelle doppie si fece quanto Savary avea fatto per ξ dell'Orsa Maggiore, e si ebbero risultati concordanti con quelli da esso ottenuti. Come esempi porgiamo i valori trovati da Yvon Villarceau pei principali elementi del moto relativo delle due parti di alcune stelle doppie che furono osservate colla massima cura.

NOMI delle stelle doppie.	DISTANZA MEDIA delle due stelle componenti veduta dalla terra.	ECCENTRICITA' dell'orb. relat.	DURATA della rivoluzione
			anni
ζ d'Ercole. . . .	1", 25	0, 448	36, 36
ξ dell'Orsa Maggiore.	2", 44	0, 431	61, 58
η della Corona bor. .	1", 20	0, 404	67, 31
p d'Ofiuco. . . .	4", 97	0, 444	92, 34

L'estensione delle leggi del moto ellittico ai sistemi binarii che costituiscono le stelle doppie dimostra che le stelle ond'è composta ciascuna di esse gravitano l'una verso l'altra, seguendo la legge di Newton, come le diverse parti del nostro sistema planetario gravitano le une verso le altre. Si può anche aggiungere che, pervenuti una volta a conoscere con una certa esattezza la distanza che ne separa da una stella doppia, come pure gli elementi del moto relativo delle due stelle che la compongono, se ne potrà dedurre facilmente il valore della massa di queste due stelle prese insieme. Poichè, conosciuta la distanza alla quale trovasi la stella doppia, e conosciute le dimensioni apparenti delle orbite relative delle sue due parti, conosceremo altresì le dimensioni reali di queste orbite; e tenendo conto delle durate delle rivoluzioni, si troverà la quantità di cui ciascuna delle due stelle componenti cade verso l'altra in un minuto secondo di tempo: finalmente, confrontando la quantità così ottenuta colla quantità di cui la terra cade verso il sole nello stesso tempo, se ne dedurrà il rapporto che esiste tra la somma delle masse delle due stelle e la massa del sole. I risultati di questo genere che fino ad ora si poterono ottenere sono troppo poco esatti perchè ne facciamo qui menzione.

Le due stelle che compongono una stella doppia non sono in generale della stessa intensità luminosa. Assai di frequente esse

presentano tinte diverse: così la più luminosa delle due è spesso rossastra o giallastra, e la più fioca ha ancora, più spesso una tinta verde o bleu molto pronunciata. Queste differenze di tinte sono certamente dovute talvolta ad un semplice effetto di contrasto; ma è impossibile attribuire a quest'unica causa la colorazione tanto frequente e spesso così pronunciata che si osserva nelle stelle doppie (*).

L'osservazione dimostra che vi hanno in cielo stelle triple e quadruple, vale a dire formate dalla riunione di tre o quattro stelle situate realmente a piccole distanze le une dalle altre; ma queste stelle sono molto meno numerose delle stelle doppie. Così sulle 120 mila stelle osservate da Struve, e tra le quali esso ha trovato più di 3 mila stelle doppie, non vi avevano che 52 stelle triple. Si possono citare tra le stelle triple ζ del Cancro e ξ della Balena, in cui le stelle componenti sono tutte e tre molto brillanti.

325. **Via lattea.** — Tutti conoscono quella immensa striscia luminosa che stendesi attraverso un gran numero di costellazioni, ed è chiamata *via lattea*. Essa vedesi rappresentata sulle carte celesti della pag. 202 (tavole I e II). Esaminando il suo andamento nel cielo, si trova ch'essa è disposta secondo un intiero giro della sfera celeste, seguendo press' a poco nel suo insieme un circolo massimo che taglia l'eclittica verso i due solstizii. Per circa una terza parte di questo immenso giro essa è divisa in due rami, i quali dirigonsi a fianco l'uno dell'altro, lasciando tra essi uno spazio poco largo e ricongiungentisi alle loro estremità.

Dirigendo un cannocchiale verso una parte qualunque della via lattea, si riconosce che la luce biancastra ch'essa presenta

(*) A intendere come la diversità delle tinte di due stelle componenti una stella doppia si possa spiegare mediante un semplice effetto di contrasto, basta riflettere che quando si osservano simultaneamente due oggetti, specialmente se piccoli, uno dei quali sia assai più luminoso dell'altro e colorato, il meno luminoso apparisce anch'esso colorato e della tinta *complementaria* di quella ond'è colorato il più luminoso. Ora il verde è complementario del rosso, ed il bleu è complementario del giallo; per cui se delle due stelle componenti il sistema la più luminosa è rossa o gialla, la meno luminosa, per legge di contrasto, deve apparire verde o bleu. Due tinte poi diconsi *complementarie* l'una dell'altra quando dalla loro riunione si produce il bianco. L'assoluta esistenza per altro di stelle verdi o bleu, indipendentemente da qualsivoglia contrasto di luce, mostra che la legge del contrasto non si debbe accettare come unica spiegazione della diversa colorazione delle stelle componenti i sistemi binarii.

è dovuta all'esistenza di un numero prodigioso di stelle piccolissime disseminate in questa regione.

Si può render conto della forma circolare sotto la quale noi vediamo questo ammasso di stelle ammettendo, con Herschel, ch'esse sieno distribuite nello spazio in guisa da allontanarsi pochissimo da un piano, formando così col loro insieme uno strato, o una specie di disco, il cui spessore sia alquanto piccolo in confronto alla sua larghezza; e che il sole insieme ai pianeti che l'accompagnano trovisi situato press'a poco nel centro di questo disco e nel mezzo del suo spessore. Vedesi infatti che così essendo noi dobbiamo vedere la massima parte delle stelle che compongono questo disco nella direzione medesima del piano secondo cui esso si distende in tutti i versi intorno a noi, e in conseguenza che debbono apparirci distribuite lungo il circolo massimo d'intersezione di questo piano colla sfera celeste. Quanto a quelle stelle che sono più vicine a noi, esse debbono apparirci più brillanti delle altre, e dobbiamo discernerle in tutte le possibili direzioni, a cagione dello spessore del disco in vicinanza al luogo che noi occupiamo: tutte le stelle isolate che distinguiamo ad occhio nudo, ed anche coi cannocchiali nelle diverse regioni del cielo, potrebbero così essere considerate come facenti parte del gruppo immenso e schiacciato al quale noi attribuiamo la via lattea. Un secondo strato di stelle che verrebbe a riunirsi al primo verso il luogo in cui noi ci troviamo, e il cui piano farebbe un piccolo angolo con quello di questo primo strato, può dare spiegazione della biforcazione che presenta la via lattea in una parte della sua lunghezza.

326. Idea che ci siamo fatta sulla natura delle stelle. — Tutto ci porta a considerare le stelle siccome veri soli, analoghi all'astro brillante che illumina e vivifica il nostro sistema planetario.

Le stelle sono troppo lontane perchè possiamo considerarne la luce come derivante dalla luce del sole riflessa alla loro superficie, come ciò ha luogo pei pianeti. Le stelle sono certamente luminose per sè stesse; ed esperienze fotometriche sulla luce del sole e su quella di alcune stelle hanno mostrato che se il sole fosse trasportato ad una distanza dalla terra eguale a quella che ci separa da queste stelle, esso ci apparirebbe come una stella di splendore certamente inferiore a quello di molte di esse.

I moti di rivoluzione delle stelle doppie indicano che questi astri esercitano potenti attrazioni gli uni su gli altri; e quan-

tunque non si possa ancora assegnare con qualche esattezza la massa di alcuna stella doppia, pure le valutazioni che di alcune tra esse si poterono fare tendono a mostrare che le masse delle stelle sono affatto paragonabili alla massa del sole; ed è anche probabilissimo che il nostro sole sia ben lontano dall'essere il più grande di quelli che veggiamo sparsi in sì gran numero nello spazio.

L'analogia ci porta a considerare come probabile che ogni stella sia accompagnata da pianeti circolanti intorno ad essa, ma che noi non possiamo discernere a cagione della loro piccolezza. Se vi hanno dei pianeti che dipendono dalle stelle doppie, il fenomeno del giorno e della notte sulla loro superficie dev'essere molto più complicato che non è sulla terra; l'esistenza di due soli, il sorgere ed il tramontare dei quali non avvengono sempre nelle stesse condizioni, e le cui luci hanno spesso tinte diversissime, deve generare una grande varietà nei loro giorni.

327. Moti proprii delle stelle. — Abbiamo detto che le stelle conservano costantemente le medesime posizioni le une rispetto alle altre, per modo che le figure che si ottengono congiungendole per mezzo di rette presentano sempre il medesimo aspetto; ma ciò non ha luogo rigorosamente. Vi ha un certo numero di stelle che sono dotate di moto proprio, vale a dire che si spostano poco a poco rispetto alle stelle alle quali esse sono vicine. Questi moti, i quali tutti si effettuano con grandissima lentezza, non possono venire comprovati che dal confronto di osservazioni molto precise fatte ad epoche opportunamente lontane le une dalle altre. Per poter formarsene un'idea indicheremo alcuni fra quelli che sono meno lenti: una stella di 7.ª grandezza della costellazione dell'Orsa Maggiore, segnata col n.° 1830 nel catalogo di Groombridge, si sposta di 7″ all'anno; la 61.ª del Cigno, stella doppia, della quale abbiamo fatto conoscere la distanza dal sole (176), si sposta di 5″, 3 per anno; la 40.ª dell'Eridano, che è pure una stella doppia, muovesi di 4″ all'anno; μ di Cassiopea descrive annualmente un arco di 3″, 7. Si comprende esser d'uopo d'un numero assai grande di anni perchè cotali spostamenti alterino in modo sensibile le configurazioni delle costellazioni di cui fanno parte queste stelle. Tra le stelle principali di ogni costellazione alcune hanno pure moti proprii; ma questi moti sono in generale molto più deboli di quelli che abbiamo citati, per cui avviene che l'aspetto delle costellazioni, determinato specialmente dalle stelle più brillanti che entrano

in esse, venne per lungo tempo considerato come assolutamente lo stesso in tutte le epoche.

328. Moto di traslazione del nostro sistema planetario. — I moti proprii delle stelle possono derivare da spostamenti reali di questi astri nello spazio, ovvero non essere altro che apparenze dovute a ciò che il sole medesimo si muove trasportando seco i pianeti e i satelliti che lo circondano.

Nel primo caso è probabile che se i moti delle stelle fossero indipendenti gli uni dagli altri; le loro direzioni non si troverebbero soggetti ad alcuna legge, e questi moti avverrebbero in tutte le direzioni.

Nel secondo caso, se cioè i moti delle stelle non fossero che apparenze dovute al moto di traslazione del sole nello spazio, tutto accadrebbe diversamente. Le stelle situate nella regione del cielo alla quale progressivamente ci avvicinassimo dovrebbero sembrare allontanarsi poco a poco le une dalle altre, e le loro distanze angolari dovrebbero aumentare in corrispondenza alla diminuzione della distanza che ne separa: le stelle situate dalla parte opposta, vale a dire nella regione del cielo donde noi ci allontanassimo, dovrebbero sembrare avvicinarsi le une alle altre: in una parola, le diverse stelle del cielo dovrebbero sembrare allontanarsi dal punto della sfera celeste verso il quale sarebbe diretto il moto del sole, per avvicinarsi al punto di questa sfera diametralmente opposto al primo. Quanto alla velocità di questo moto apparente delle diverse stelle, essa varierebbe dall'una all'altra, secondo la maggiore o minore distanza che ne separa da ciascuna di esse; per modo che questa velocità potrebbe non essere sensibile che per un certo numero di stelle, mentre le altre, a cagione delle enormi loro distanze. apparirebbero immobili nel cielo, a malgrado dello spostamento che noi proveremmo.

Confrontando fra loro i diversi moti proprii delle stelle che si poterono determinare, si vede che le loro direzioni non soddisfanno a questa legge tanto semplice che abbiamo indicato, pel caso in cui questi moti non fossero che apparenze dovute alla traslazione del sole nello spazio; per altro son ben lungi dal presentare il carattere di moti affatto indipendenti gli uni dagli altri. Essi non sono diretti in tutte le maniere possibili; ma si rimarca nel loro insieme una certa tendenza ad assumere piuttosto una particolare direzione che qualunque altra. Da ciò si è condotti ad ammettere che i moti proprii delle stelle provengano insieme dalle due cause che abbiamo indicate, vale a

dire che le stelle si spostino realmente nello spazio, e che il sole del pari si muova, seco trasportando i pianeti.

Herschel, dopo un conveniente studio della quistione di cui qui si tratta, riconobbe che il sole si muove verso un punto situato nella costellazione d'Ercole. In appresso Argelander, mediante la discussione di 590 moti proprii di stelle, confermò pienamente il risultato ottenuto da Herschel; e trovò che il punto del cielo verso cui è diretto il moto del sole avea nel 1800 un'ascensione retta di 260° 50', 8, ed una declinazione boreale di 31° 17', 5: questo punto è alquanto al nord della stella λ della costellazione d'Ercole (vedi a pag. 202, tavole I e II). Da queste medesime ricerche la velocità del sole nello spazio risulta almeno eguale alla velocità della terra nel suo moto di rivoluzione intorno al sole (*).

529. **Stelle filanti.** — Prima di terminare quanto si riferisce alle stelle diremo qualche parola intorno a quelle che diconsi *stelle filanti*. Tutti hanno veduto di que' punti brillanti affatto simili a stelle, che muovonsi rapidamente nel cielo, attraversando molte costellazioni in alcuni istanti e che spariscono subito dopo. È raro il non vederne quando, in una bella notte senza nubi, si rimanga per un certo tempo in tal luogo donde si scopra una parte del cielo stellato.

(*) Dal moto di traslazione del sole, insiemè a tutti i pianeti, nello spazio, e dall'essere tutte le stelle dotate parimenti di moto proprio nacque l'ipotesi che tutte le stelle componenti il sistema stellare cui appartiene il nostro sole (325) ruotino intorno al comun centro di gravità seguendo le leggi dell'attrazione universale. Argelander opinerebbe trovarsi questo centro di gravità del nostro sistema stellare nella costellazione di Perseo; Mädler invece lo collocherebbe nelle Plejadi, e più precisamente in Alcione, la più bella delle stelle di questa costellazione

Abbiamo altrove veduto (§ 64, pag. 139) che il numero delle stelle visibili ad occhio nudo ammonta a circa 5000, comprendendovisi le stelle delle prime sei grandezze, mentre le stelle dalla prima alla nona grandezza ascendono a circa 200,000.

Furono proposti varii mezzi per determinare i rapporti fra l'intensità luminosa delle varie stelle, affine di poterle classificare a seconda di questa intensità; ma s'incontrarono finora tali difficoltà a siffatte determinazioni da rimanere ancora molta incertezza sull'attendibilità dei risultati. Crediamo per altro conveniente l'esporre i principali risultati ottenuti da Giovanni Herschel, il quale cercò di riferire l'intensità luminosa delle stelle a quella di α del Centauro, la cui intensità fu presa per unità. La seguente tavoletta porge pertanto le *grandezze fotometriche* delle sedici stelle di prima grandezza, colle loro corrispondenti *quantità di luce;* ed

Le stelle filanti non sono stelle, ma corpi di piccole dimensioni, come pietre, che attraversano rapidamente l'atmosfera

è naturale il vedere che quanto più piccolo è il numero esprimente la grandezza fotometrica d'una stella, maggiore dev'essere la corrispondente quantità di luce: fra le stelle di prima grandezza fu ommessa η di Argo siccome variabile (vedi la nota a pag. 689).

NOMI DELLE STELLE	GRANDEZZA fotometrica.	QUANTITA' di luce.
α Cane maggiore (Sirio).	0, 49	4, 165
α Nave (Canopo).	0, 70	2, 041
α Centauro.	1, 00	1, 000
α Boote (Arturo).	1, 18	0, 718
β Orione (Rigel).	1, 23	0, 661
α Auriga (la Capra).	1, 41	0, 510
α Lira (Vega).	1, 41	0, 510
α Cane minore (Procione).	1, 41	0, 510
α Orione (Beteigeuze).	1, 43	0, 489
α Eridano (Achernar).	1, 50	0, 444
α Toro (Aldebaran).	1, 51	0, 414
β Centauro.	1, 58	0, 401
α Croce	1, 61	0, 391
α Scorpione (Antarés).	1, 61	0, 391
α Aquila (Altair).	1, 69	0, 350
α Vergine (Spica).	1, 79	0, 312

In questa tavoletta i numeri esprimenti le grandezze fotometriche sono presi per modo che le intensità luminose delle diverse stelle sono nella ragione inversa dei quadrati delle corrispondenti grandezze fotometriche. Seguendo questa legge, le intensità luminose delle stelle, le cui grandezze fotometriche fossero esattamente la 2.ª, la 3.ª, la 4.ª, ... sarebbero in ordine $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{16}$, ... dell'intensità luminosa di α del Centauro, essendo l'intensità di questa stella presa per unità.

Lo stesso Herschel ha pure cercato di determinare il rapporto che esiste tra l'intensità luminosa di una stella e quella del sole. A tal fine cominciò egli dal confrontare l'intensità luminosa di α del Centauro con quella della luna all'istante del plenilunio, e trovò essere questa 27408 volte più brillante di α del Centauro; e siccome Wollaston aveva già trovato essere il sole 801072 volte più brillante della luna al plenilunio, così la luce che il sole ne invia sta a quella che riceviamo da α del Centauro nel rapporto di 22000 milioni ad 1. Supposto che la parallasse di α del Centauro fosse di 0″, 9, come fu approssimatamente trovato da Henderson e Maclear, e tenuto calcolo del rapporto fra le distanze della terra dal sole e da α del Centauro, emergerebbe essere l'intensità luminosa assoluta di questa stella circa il doppio di quella del sole.

terrestre, e che tanto si riscaldano nel loro sfregamento contro le molecole dell' aria da divenire incandescenti. Talvolta questi piccoli corpi cadono sulla terra, ed allora costituiscono quelli conosciuti col nome di *areoliti;* tal altra scompariscono senza aver raggiunta la superficie del globo. Si spiegano le stelle filanti coll' ammettere che vi sia nello spazio un gran numero di piccoli corpi che muovonsi obbedendo alle attrazioni del sole e dei pianeti; che la terra nell'annuo suo moto intorno al sole ne venga ad incontrare successivamente un certo numero; che quelli cui essa s'avvicini bastantemente ne vengano attratti fino a giungere a riunirsi alla sua massa, mentre altri non fanno che penetrare d'una piccola quantità nell' atmosfera, donde escono in appresso per continuare il loro moto nello spazio.

Le continuate osservazioni che si fecero da un certo numero d'anni mostrano che i piccoli corpi di cui parliamo non sono uniformemente distribuiti nelle diverse regioni che la terra attraversa nell'annuo suo moto; ma esistono come specie di strati od ammassi di questi corpi, per modo che, quando la terra viene ad avvicinarsi alle regioni ove essi si trovano, il numero delle stelle filanti che si possono osservare diviene molto più grande che di solito non sia; talvolta anche se ne veggono prodigiose quantità. Si formerà un' idea delle circostanze che indichiamo qui dando uno sguardo ai quadri seguenti, pubblicati da Coulvier-Gravier, il quale si dedica con grande assiduità alle osservazioni delle stelle filanti.

GIORNI d'osservazione.	NUMERO delle stelle filanti vedute in un'ora.	GIORNI d'osservazione.	NUMERO delle stelle filanti vedute in un'ora
5 agosto 1853	20	9 agosto 1853	49
6 » »	19	10 » »	56
7 » »	23	11 » »	35
8 » »	33	12 » »	34

Questo quadro mostra che il numero delle stelle filanti vedute in un' ora ha raggiunto un valore massimo il 10 agosto 1853. Da un numero bastantemente grande di anni si è potuto comprovare l'esistenza d'un tal massimo alla stessa epoca. Ma il numero di stelle filanti osservate in un' ora, all'epoca di

questo massimo, varia da un anno all'altro, come si può giudicare.

ANNI	NUMERO orario massimo.	ANNI	NUMERO orario massimo.	ANNI	NUMERO orario massimo.
1837	59	1843	78	1849	98
1838	62	1844	80	1850	83
1839	65	1845	85	1851	71
1840	68	1846	92	1852	60
1841	72	1847	102	1853	52
1842	74	1848	113		

Nel 1848 adunque il numero delle stelle filanti osservate in un'ora all'epoca del massimo d'agosto fu il più grande; dopo il 1848 questo numero andò continuamente diminuendo, ed è probabilissimo che ben presto il massimo corrispondente al mese d'agosto scomparisca affatto.

Un massimo analogo a quello d'agosto venne osservato per un certo tempo nel mese di novembre; e questo massimo, dopo essere aumentato fino al 1833, diminuì in appresso, e in capo ad alcuni anni più non ne rimase traccia.

NEBULOSE

330. Si dà il nome di *nebulose* a certe macchie biancastre che veggonsi qua e là in tutte le parti del cielo, e il cui aspetto ha molta analogia con quello delle piccole nubi che si osservano spesso nell'atmosfera della terra.

La prima nebulosa di cui sia stata questione è quella di Andromeda (fig. 382), segnalata nel 1612 da Simone Mario, che l'ebbe a paragonare alla fiamma d'una candela veduta attraverso ad una lamina di corno. Questa nebulosa è visibile ad occhio nudo, e trovasi vicino alla stella ν della costellazione d'Andromeda.

Nel 1656 Huyghens scoperse una grande nebulosa nella costellazione d'Orione, vicino alla guardia della spada (fig. 383): questa nebulosa ha una forma irregolarissima.

Nel 1716 Halley non conosceva che sei nebulose in tutto: i lavori di Lacaille e di Messier ne portarono il numero a 96. Herschel, mediante i suoi potenti strumenti, aumentò conside-

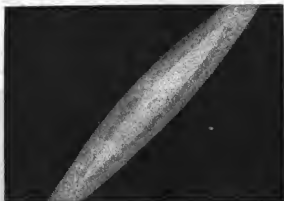



Fig. 382.

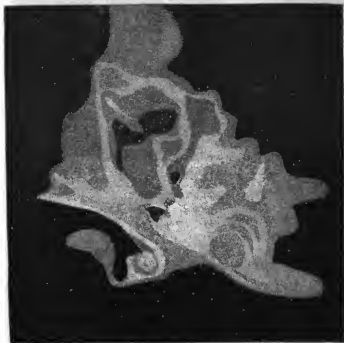



Fig. 383.

revolmente questo numero, mentre esso solo scoprì 2500 nebulose (*).

Le nebulose hanno forme diversissime, ed a potersene formare un'idea porgiamo qui sotto le figure di altre quattro nebulose (dalla fig. 384 alla 387), coll'indicazione dell'ascensione retta (AR) e della declinazione (D) di ciascuna di esse. La prima (fig. 384)

Fig. 384. (AR = 272° 42', D = 16° 15' A)

somiglia per la forma alla lettera greca Ω; la seconda (fig. 385) è doppia, e la parte principale si compone di una specie di nucleo circondato da un anello circolare, che si divide in due rami per una porzione del suo contorno; la terza (fig. 386) ha la forma di un anello leggermente ellittico; in fine la quarta (fig. 387) ha molta analogia con una cometa la cui coda s'allargasse alquanto a ventaglio.

331. Nebulose risolvibili. — Tra le nebulose ve ne hanno molte che non sono altro fuorchè un ammasso di stelle piccolissime e numerosissime. Osservandole con cannocchiali di debole in-

(*) Attualmente si conoscono le posizioni di più che 3600 nebulose.

grandimento, non si possono distinguere le stelle onde son formate, ed appariscono come semplici macchie bianche, d'uno

Fig. 385. (AR = 206° 40′, D = 48° 4′ B)

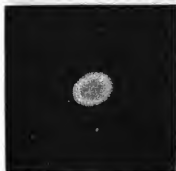



Fig. 386. (AR = 281° 49′, D = 32° 49′ B)

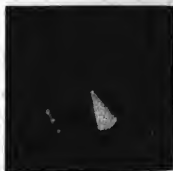



Fig. 387. (AR = 97° 28′, D = 8° 53′ B)

splendore più o meno pronunciato nelle loro diverse parti; ma servendosi d'istrumenti ognor più forti, si finisce per vedere

Fig. 388. (AR=81°4', D=21°53'B)

Fig. 389. (AR=232°17', D=6°33' B)

Fig. 390. (AR=321° 10', D=1° 34' A)

Fig. 391. (AR=227°29', D=2°44' B

nettamente che non sono che agglomerazioni di punti brillanti isolati. Le nebulose suscettibili d'essere così *risolte* in stelle, quando si ricorra ad opportuno ingrandimento, sono designate sotto il nome di *nebulose risolvibili.*

L'ingrandimento necessario per far distinguere le stelle onde si compone una nebulosa risolvibile, non è lo stesso per tutte queste nebulose. Gli è così che il gruppo delle Plejadi, di cui abbiamo indicata precedentemente la posizione nel cielo (fig. 125 a pag. 143), e che presenta l'aspetto d'una nebulosa alle persone la cui vista non è molto buona, si risolve in stelle senza il soc-

corso de' cannocchiali; e basta avere una buona vista per distinguervi facilmente sei o sette stelle. Certe nebulose non esigono che un ingrandimento molto debole per essere risolte in stelle, per altre fa d'uopo un ingrandimento più forte; ve ne hanno che non si risolvono in stelle che per mezzo dei più forti ingrandimenti di cui possiamo disporre, ed havvene infine che presentano appena una tendenza leggera a risolversi in stelle, malgrado l'uso di questi massimi ingrandimenti. Le fig. 388 a 392 rappresentano nebulose risolvibili vedute con istrumenti di grande potenza. Se nelle prime distinguesi difficilmente un principio di decomposizione in stelle, ciò deriva dall'essere necessario ricorrere a cannocchiali ancora più potenti per ridurle ad assumere l'aspetto delle ultime.

Fig. 392. (AR=248°54', D=36°47' B)

332. Nebulose non risolvibili. — Quando una nebulosa veduta per mezzo d'un cannocchiale di fortissimo ingrandimento non dà la menoma apparenza di decomposizione in stelle, si potrebbe dire che la differenza ch'essa presenta con una nebulosa risolvibile dipende solo da ciò che l'ingrandimento dell'usato cannocchiale non è sufficiente; per modo che, seguendo quest'idea, se noi potessimo aumentare indefinitamente la potenza dei nostri istrumenti, arriveremmo a risolvere in stelle tutte le nebulose conosciute. Ciò è vero per un gran numero di nebulose che non si poterono ancora risolvere; ma non è vero per tutte. Ve ne hanno molte di tale apparenza che non è possibile considerarle come agglomerazioni di stelle, ma sono evidentemente ammassi di una materia vaporosa e diffusa, la quale è sparsa in più o meno grandi quantità nelle varie regioni dello spazio. Quanto all'intima loro natura, si possono paragonare alle comete, che conservano sempre l'aspetto nebuloso, malgrado la debole distanza che ne separa quando possiamo osservarle.

Le nebulose sono adunque di due specie diversissime, cioè: 1.° le nebulose risolvibili, o agglomerazioni d'un gran numero di stelle riunite in un piccolo spazio; 2.° le nebulose non risolvibili o nebulose propriamente dette, cioè a dire formate d'una

materia diffusa, alla quale sovente si dà il nome di *materia nebulosa* (*).

333. **Il sole fa parte d'una nebulosa risolvibile.** — Abbiamo detto (325) che la via lattea si spiega naturalmente ammettendo che il sole trovisi nel mezzo di un ammasso di stelle riunite in grandissimo numero, in modo da formare col loro insieme un immenso disco schiacciato. Quest'ammasso di stelle è affatto analogo a quelli di cui abbiamo parlato, e che costituiscono le nebulose risolvibili. Si può dunque dire che il sole è una delle stelle componenti una nebulosa risolvibile.

Non possiamo dispensarci dall'indicare qui la sorprendente analogia che esiste tra questa nebulosa, di cui facciamo parte, e la nebulosa rappresentata dalla figura 385. Un osservatore che si trovasse collocato verso il centro della maggiore delle due porzioni di quest'ultima nebulosa vedrebbe la parte annulare che la circonda projettarsi nel cielo, assumendo l'esatta apparenza che ci presenta la via lattea, e non vi mancherebbe nemmeno la biforcazione che esiste per un terzo del contorno della via lattea.

Appoggiandosi a nozioni cotanto grandiose relative alla distribuzione generale delle stelle per gruppi costituenti le nebulose risolvibili, Laugier venne condotto ad occuparsi d'un immenso lavoro, avente per iscopo di determinare il moto di traslazione del nostro sistema planetario in modo diverso da quanto si fece finora. S'egli è vero che il sole e le diverse stelle isolate che noi discerniamo nel cielo appartengono ad una di queste nebulose, il moto di traslazione del sole determinato mediante l'osservazione dei moti proprii d'un certo numero di stelle, non può essere che un moto relativo: il moto complessivo che la intiera nebulosa potrebbe possedere nello spazio non riesce in alcun modo sensibile dal confronto delle posizioni che le sue diverse parti occupano successivamente le une rispetto alle altre; le ricerche che si fecero fin qui, e dalle quali risulterebbe che il sole si muove verso la costellazione d'Ercole (328), non possono far conoscere che lo spostamento di quest'astro nell'interno della sua nebulosa, senza nulla indicare intorno allo spostamento della nebu-

(*) A misura che si aumenta il potere amplificativo dei cannocchiali o dei telescopii, va pure scemando il numero delle nebulose non risolvibili. Così la nebulosa di Andromeda venne risolta, non sono molti anni, da Giorgio Bond a Cambridge, in America, che vi potè distinguere non meno di 1500 piccole stelle. Del pari la grande nebulosa d'Orione venne oramai quasi totalmente risolta dal potentissimo telescopio di Rosse.

losa nello spazio. Per giungere a comprovare il moto di questa nebulosa, di cui fa parte il sole, e a determinare la grandezza e direzione della velocità colla quale questo moto si compie, è necessario ricorrere a punti di confronto situati fuori della nebulosa medesima: ora le diverse nebulose risolvibili che da tutte le parti veggonsi nel cielo soddisfanno assai bene a questa condizione, poichè costituiscono dei sistemi di stelle analoghi a quelli di cui si vuol trovare il moto, e isolati gli uni dagli altri nello spazio. Gli è perciò che Laugier si occupa attivamente della costruzione di un catalogo di nebulose con tutta quella esattezza di cui sono attualmente capaci le osservazioni astronomiche. Dal confronto di questo catalogo con quelli che più tardi potranno essere fatti si giungerà a determinare i moti proprii delle nebulose sulla sfera celeste, e in conseguenza se ne dedurranno, rispetto al moto del sole nello spazio, nozioni più complete di quelle che si poterono ottenere dai moti proprii delle stelle (*).

(*) Per formarsi un'idea della distanza alla quale trovansi le nebulose risolvibili converrà richiamarsi quanto venne detto sulla parallasse delle stelle (pag. 173 e seg.), e sarà facilmente compreso che, supponendo per le stelle piccolissime della via lattea, che sono da noi le più lontane, una parallasse annua di 0″, 1, attribuiamo a questa parallasse un valore certamente superiore al vero. Una parallasse di 1″ corrisponde ad una distanza dal sole eguale a 200,000 volte quella della terra dal sole, ed una tale distanza viene percorsa dalla luna in più che 3 anni; una parallasse annua di 0″, 1 corrisponde quindi ad una distanza percorsa dalla luna in più che 30 anni. Supponendo pertanto che il sole coi suoi pianeti trovisi vicino al centro del disco costituente il nostro sistema stellare, la luce impiegherebbe più di 60 anni a percorrere uno dei massimi diametri di questo disco.

Imaginando che si potesse osservare il nostro sistema stellare da un punto fuori di esso, se la visuale fosse perpendicolare al piano determinato dai diametri massimi del disco costituente il sistema, esso apparirebbe di forma circolare; apparirebbe di forma ellittica avente l'asse maggiore eguale al diametro di quel circolo se la visuale fosse diretta obliquamente a quel piano medesimo, e l'ellisse sarebbe tanto più schiacciata quanto maggiore sarebbe l'obliquità della visuale rispetto allo stesso piano. Il diametro del circolo poi sarebbe veduto sotto un angolo di circa 35′ se la distanza da cui venisse osservato fosse eguale a 100 volte il diametro medesimo: a questa distanza il nostro sistema stellare non apparirebbe che come una piccola nube debolmente illuminata; come ci apparisce la nebulosa di Andromeda, la quale, come fu detto, presenta la forma ellittica. Supponendo pertanto che la nebulosa di Andromeda costituisca un sistema stellare analogo al nostro, si potrebbe ritenere essere la distanza di quella nebulosa da noi eguale a 100 volte il diametro

334. Trasformazione delle nebulose in stelle. — Un'osservazione molto attenta delle nebulose propriamente dette ha condotto Herschel a pensare che la materia nebulosa onde sono formate, si condensi poco a poco, e che per questa condensazione essa dia origine a delle stelle. L'estrema lentezza colla quale avviene una simile trasformazione fa sì che non si possa sperare d'esser testimonii della produzione di sensibili cangiamenti nella disposizione relativa delle diverse parti d'una nebulosa; ma in molti di questi corpi si notano facilmente delle circostanze le quali indicano che in essi è già cominciata la trasformazione di cui parliamo.

Molte nebulose, a forma più o meno bizzarra, come quelle rappresentate dalle figure 383 e 384, presentano in alcune loro parti evidenti accumulazioni di materia nebulosa intorno a certi punti, che sono come centri d'attrazione. Inoltre un gran numero di nebulose affettano una forma arrotondata con marcata condensazione verso i loro centri di figura; e questa concentrazione della materia nebulosa intorno al centro d'attrazione si mostra altresì più o meno inoltrata nelle diverse nebulose nelle quali la si osserva, per modo che pel ravvicinamento delle diverse apparenze che esse presentano si ha per così dire un'immagine delle successive trasformazioni che una nebulosa deve subire onde passare compiutamente allo stato di stella.

Dall'ispezione delle quattro figure qui unite (fig. 393 a 396) sembra naturale il supporre che la materia d'una nebulosa globulare si condensi poco a poco al suo centro di figura, finchè venga a formarsi in questo centro una stella. Basta seguire col pensiero questa progressiva condensazione oltre allo stato indicato dalla figura 396 per riconoscere che l'immensa atmosfera che circonda la stella centrale va restringendosi poco a poco, diminuendo d'intensità, e scomparisce infine totalmente per non lasciare che una stella isolata, come quelle che discer-

del nostro sistema stellare; dunque la sua luce impiegherebbe ad arrivarci circa 6000 anni ($100 \times 60 = 6000$).

Se noi riflettiamo che la nebulosa d'Andromeda non è certo la più lontana da noi, che vi hanno nebulose che sottendono angoli piccolissimi, cioè di qualche minuto soltanto, e che man mano che vanno risolvendosi le diverse nebulose, aumentando la potenza dei cannocchiali e dei telescopii, se ne vengono a scoprire di nuove, la cui risoluzione dipende da strumenti ognor più potenti, non parrà strano che Guglielmo Herschel abbia giudicato che la luce proveniente dalla più debole nebulosa da lui osservata col suo gigantesco strumento impiegherebbe due milioni d'anni a giungere fino a noi.

niamo in si gran numero nel cielo. Le due nebulose rappresentate dalle fig. 397 e 398 sembrano parimenti non essere che due stati diversi d'una stessa nebulosa, la cui materia si condensa intorno a due centri d'attrazione, per modo da dar origine in ultimo

Fig. 393 (AR=18°45', D=12°1' B)

Fig. 394. (AR=202° 13', D=17°1' A)

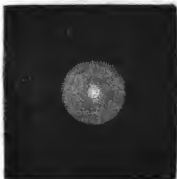



Fig. 395. (AR=190°43', D=42°3' B)

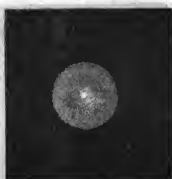



Fig. 396. (AR=59°39', D=30°20' B)

alla formazione d'una stella doppia. È pure lo stesso delle nebulose rappresentate dalle figure 399 e 400, mentre l'ineguale condensazione della materia nebulosa intorno a due centri d'attrazione è precisamente quella che dovrebbe avvenire per dar origine ad una stella doppia, i cui due elementi sarebbero di differenti grandezze.

Veggonsi nel cielo un certo numero di nebulose arrotondate, presentanti uno splendore sensibilmente uniforme in tutta la loro estensione (fig. 401); e spesso nel mezzo di queste nebulose si

distingue una stella (fig. 402), talvolta se ne distinguono due (fig. 403) ed anche tre (fig. 404). Probabilmente sono specie di atmosfere considerevoli che hanno persistito dopo che la maggior parte della materia di ciascuna di queste nebulose si è con-

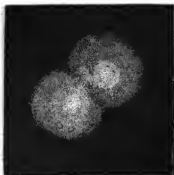



Fig. 397. (AR=174°20', D=34°29' B) Fig. 398. (AR=342°48', D=13°43' A)

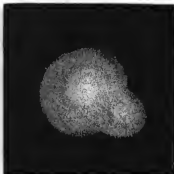
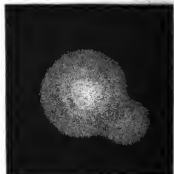



Fig. 399. (AR=140°38', D=22°15' B) Fig. 400. (AR=183°18', D=5°25' B).

densata in uno o più centri d'attrazione. Le stelle formate da questa condensazione possono anche non essere sempre visibili (fig. 401) in mezzo alla nebulosità dovuta all'atmosfera che le circonda; basta perciò che la loro lontananza sia tanto grande per cui esse non appariscano nei cannocchiali che come punti luminosi di debolissimo splendore, per modo che non si possano distinguere in questa nebulosità, la cui chiarezza è d'altra parte indipendente dalla distanza che le separa da noi (19).

Da quanto precede è facile il comprendere che le nebulose risolvibili e le nebulose propriamente dette sono lontane dall'avere lo stesso grado d'importanza nell'universo. Mentre le nebulose risolvibili sono agglomerazioni d'un grandissimo numero di stelle

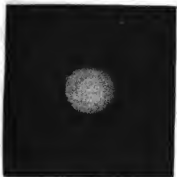



Fig. 401. (AR=166°12′, D=55°56′ B)

Fig. 402. (AR=295°5′, D=50°6′ B)

Fig. 403. (AR=271°45′, D=11°56′ A)

Fig. 404. (AR=80°3′, D=34°6′ B)

che noi possiamo paragonare all'ammasso di stelle al quale apparteniamo (333), le nebulose propriamente dette non debbono essere considerate che come minimissime parti integranti di quest'ultimo ammasso di stelle (*).

(*) Nell'emisfero meridionale si osservano le *Nubi del Magellano*, le quali al primo aspetto fanno la stessa impressione che farebbero due porzioni staccate della via lattea: la piccola nube (*Nubecola minore*)

555. **Ipotesi di Laplace sulla formazione del nostro sistema planetario.** — Dopo aver dato un sunto delle idee alle quali gli astronomi furono condotti relativamente agli astri tanto numerosi che trovansi sparsi nell'immensità dei cieli, torniamo al nostro sistema planetario, e vediamo come ci possiamo render ragione del modo onde venne a formarsi.

Buffon supponeva che i pianeti e i loro satelliti derivassero dai frammenti prodotti dall'urto d'una cometa sulla superficie del sole; ma le leggi della meccanica dimostrano che questa non può essere la loro origine. Infatti da queste leggi consegue che se una porzione della massa del sole fosse lanciata nello spazio da una causa qualsiasi, il corpo che ne risulterebbe si muoverebbe intorno al sole ritornando ad ogni rivoluzione a passare pel suo punto di partenza: la forma quasi circolare delle orbite dei pianeti, e la posizione del sole vicino al centro di ognuna di queste orbite, non possono quindi conciliarsi coll'idea di Buffon.

Più felice nella sua ipotesi fu Laplace. Adottando egli le idee di Herschel sulla progressiva condensazione delle nebulose e la loro trasformazione in stelle, ed applicando queste idee al nostro sistema planetario, giunse a spiegarne la formazione nel modo

scompare affatto ad un bel chiaro di luna, l'altra (*Nubecola maggiore*) non fa che perdere una porzione considerevole del suo splendore. Questa è situata tra i meridiani corrispondenti a 4^{ore} 40′ e 6^{ore} 0′ entro i limiti di 66° e 72° di declinazione australe; quella è compresa tra i meridiani corrispondenti a 0^{ore} 28′ e 1^{ora} 15′, entro i limiti di 72° e 75° di declinazione australe. Pertanto la nube maggiore si estende per 42 gradi quadrati; la minore per 10 gradi quadrati dalla volta celeste. Nella nube maggiore vennero rimarcate 582 stelle, 291 nebulose e 46 ammassi stellari; nella minore 200 stelle, 36 nebulose e 7 ammassi stellari.

Vicino alle nubi di Magellano si rimarcano in oltre le *macchie nere*, da taluni dette anche *sacchi di carbone;* fra le quali la più notevole, e che fu anche ravvisata per la prima, è situata all'est della costellazione della Croce del Sud, e presenta la forma d'una pera, avente 8° di lunghezza e 5° di larghezza; nel qual vasto spazio non trovasi visibile ad occhio nudo che una stella compresa tra la 6.ª e la 7.ª grandezza e una considerevole quantità di stelle telescopiche di 11.ª, 12.ª, 13.ª grandezza. Queste macchie nere, al pari che gli spazii affatto privi di stelle che si osservano nelle costellazioni dello Scorpione e d'Ofiuco, e chiamati da alcuni *fori del cielo*, si spiegherebbero ammettendo che in queste regioni sieno meno spessi gli strati sovrapposti di stelle che probabilmente stendonsi per tutta la volta celeste, od anche che questi strati sieno affatto interotti, per modo che il nostro sguardo si spinga per esse negli spazii più lontani dell'universo.

modo più soddisfacente. Nessuna delle particolarità che furono manifestate dall'osservazione rispetto ai pianeti ed ai loro satelliti sfugge all'ingegnosa spiegazione da esso sviluppata alla fine dell'*Esposizione del sistema del mondo*, e della quale tenteremo di dare un'idea.

Laplace suppone che in origine il sole e tutti i corpi che circolano intorno ad esso non formassero che una sola nebulosa, animata d'un moto di rotazione intorno ad una retta passante pel suo centro e stendentesi sino all'orbita del pianeta più lontano ed anche al di là. Egli ammette inoltre che, in conseguenza di un progressivo raffreddamento, porzioni ognor più grandi della materia della nebulosa si fossero condensate al suo centro, in guisa da formare un nucleo, la cui massa s'accresceva così a poco a poco. Partendo da questa ipotesi, egli fa vedere che col tempo la nebulosa dovette ridursi allo stato in cui si trova attualmente il sistema planetario.

A misura che il raffreddamemto produceva la condensazione di nuove parti della nebulosa, le materie così condensate si precipitavano verso il centro, precisamente allo stesso modo con cui vediamo cadere in gocce l'acqua che risulta dalla condensazione del vapore contenuto nella nostra atmosfera. Ma quella caduta di materie condensate non poteva avvenire senza che ne risultasse un incremento nella velocità, colla quale l'intiera nebulosa ruotava intorno al proprio asse. Per comprenderlo basta riferirsi a quanto abbiamo detto rispetto alla deviazione che prova un corpo che cade da una grande altezza (312): in conseguenza della rotazione della terra questo corpo cade alquanto all'est del piede della verticale condotta pel suo punto di partenza; la retta che lo congiunge al centro della terra ruota dunque più prestamente che questa verticale, e l'incremento della sua velocità diverrebbe molto più sensibile se si potesse lasciar cadere il corpo da un'altezza che fosse paragonabile al raggio della terra. Le materie condensate, cadendo verso il centro della nebulosa, dovevano dunque assumere intorno al suo asse un moto di rotazione più rapido di quello del resto della massa; ed allora gli attriti delle diverse parti della nebulosa gli uni sugli altri acceleravano il moto di quelle che ruotavano meno velocemente, e rallentavano al contrario il moto di quelle che ruotavano più celeremente; la massa intiera della nebulosa finiva dunque in capo a un certo tempo a ruotare tutta insieme con una velocità angolare maggiore di quella che possedeva dapprima. Così la progressiva condensazione delle mate-

rie originariamente gasose della nebulosa, e la loro riunione nel suo centro in quantità ognor più grande, produceva necessariamente un continuo aumento nella velocità di rotazione di questa nebulosa intorno al suo asse.

Una nebulosa come quella che noi consideriamo, la quale sia animata d'un moto di rotazione sopra sè stessa, non può stendersi, nel piano del suo equatore, oltre un certo limite, il quale dipende della velocità del movimento. Una molecola qualunque, situata nel piano dell'equatore della nebulosa e partecipante al suo moto, è sottomessa all'attrazione che esercita sopra di essa tutta la massa della nebulosa, ed insieme alla forza centrifuga svilupppata dal suo moto di rotazione. Le dimensioni della nebulosa non possono essere tali che, per un punto preso sul suo stesso equatore, la seconda forza superi la prima: che se, per qualsivoglia cagione, la nebulosa si trovasse in tali condizioni che ciò avesse ad accadere, venendo la forza centrifuga delle molecole situate al suo equatore a superarne il peso, queste molecole cesserebbero dal far parte della nebulosa e si muoverebbero nello spazio, indipendentemente da essa, in virtù della velocità che possedevano all'istante in cui si sarebbero distaccate.

La condensazione progressiva di diverse parti della materia che forma la nostra nebulosa dovette determinare, come abbiamo detto, una corrispondente accelerazione del suo moto di rotazione, e per conseguenza un progressivo aumento della forza centrifuga dovuta a questo moto, per un punto situato ad una stessa distanza dall'asse; il limite di cui abbiamo parlato, oltre il quale non può stendersi la nebulosa, dovette dunque restringersi ognora più. Se ad una cert'epoca questo limite, avvicinandosi poco a poco al centro, finì per raggiungere la superficie della nebulosa, le condensazioni che continuò ad operare il raffreddamento, dovettero farlo penetrare anche nell'interno di questa superficie, ed allora le molecole estreme della nebulosa, tutto intorno al suo equatore, trovaronsi oltre il limite che non potevano sorpassare; e per conseguenza questa porzione eccedente della sua materia dovette cessare di far corpo col resto della massa, e separarsene sotto forma d'un anello ruotante nel suo piano e intorno al suo centro, colla velocità che possedeva all'istante in cui si è distaccata. La nebulosa non può dunque abbandonare una parte della materia che la compone se non lungo il suo equatore; mentre in tutte le altre parti fuorchè nel piano di questo circolo l'attrazione che una molecola prova da parte della nebulosa intiera non ha la medesima direzione della forza cen-

trifuga dovuta al suo moto di rotazione, e queste due forze si compongono in una risultante (*) che tende ognor più ad avvicinare le molecole all'equatore, a misura che la forza centrifuga va crescendo; l'incremento pertanto della velocità angolare della nebulosa fa sì che le molecole della sua superficie si trasportino da tutte le parti al suo equatore, e là vengano abbandonate nello spazio, come abbiamo detto.

Si comprende pertanto che la nostra nebulosa, raffreddandosi continuamente, dovette successivamente abbandonare nel piano del suo equatore diversi anelli di materia nebulosa, i quali continuarono a ruotare in questo piano e intorno al loro comun centro. La massa centrale alla quale la nebulosa finì col ridursi, in seguito alle sue successive condensazioni, altro non è che il sole; e gli anelli concentrici di materia nebulosa ch'essa ha deposti, gli uni dopo gli altri, nel piano del suo equatore diedero origine ai pianeti. Ed ecco come potè avvenire questa trasformazione degli anelli.

Ognuno di questi anelli avrebbe dovuto presentare una perfetta regolarità in tutto il suo contorno onde conservare indefinitamente la sua forma annulare. Ora, non potendo evidentemente esistere questa regolarità se non in casi affatto eccezionali, è naturale ammettere ch'essa non siasi verificata negli anelli di cui parliamo. Pertanto la materia di ciascuno di essi dovette a poco a poco riunirsi intorno a certi centri d'attrazione, e ben tosto queste parziali concentrazioni dovettero dividerli in diversi frammenti, ciascuno dei quali continuò a muoversi separatamente, press'a poco come si muovevano quando trovavansi riuniti. Le velocità delle diverse parti che costituivano precedentemente uno stesso anello non essendo rigorosamente tra loro eguali, sia che già fossero differenti all'istante della separazione di queste parti, sia che fossero state alterate ultimamente dalle azioni perturbatrici alle quali tutte le porzioni del sistema trovaronsi assoggettate, ne risultò che tutte le parti di un medesimo anello poterono successivamente ricongiungersi e terminare col confondersi in una sola massa circolante intorno al sole, e situata press'a poco nella circonferenza dell'anello che loro diede origine: questa massa unica, continuando a condensarsi, produsse un pianeta. Poteva per altro accadere che i diversi frammenti nei quali un anello s'era decomposto continuassero a circolare isolatamente, e dessero in conseguenza luogo alla formazione di altrettanti pianeti distinti, tutti muoventisi

(*) Vedi la nota a pag. 645.

press' a poco nella medesima regione: gli è così che i 43 pianeti che si conoscono tra Marte e Giove poterono risultare da frammenti nei quali sarebbesi diviso un anello di materia nebulosa deposto in questa regione.

Vediamo ora che cosa divennero le materie provenienti dalla totalità d'un anello, e riunite in un sol punto del suo contorno, conformemente a quanto abbiamo detto; e cerchiamo di riconoscere come mai la massa di cui sono formate ha potuto per tal modo produrre un pianeta ruotante sopra sè stesso e accompagnato da satelliti che è il caso più generale nel nostro sistema planetario. Nella progressiva condensazione di questa massa le molecole più lontane dal sole si sono avvicinate a questo astro, e le molecole che ne erano le più vicine se ne sono allontanate: avendo le prime una maggiore velocità e le ultime una velocità minore di quella della parte media verso cui le une e le altre ognor più si concentravano, dovette risultarne un moto di rotazione della massa intiera intorno al suo centro e nel verso medesimo del moto di rivoluzione di questa massa intorno al sole. Pertanto queste materie, provenienti da uno degli anelli abbandonati dalla primitiva nebulosa, costituirono un sistema affatto analogo a questa nebulosa, ma di molto minori dimensioni, che diedero luogo a una nuova nebulosa, la quale, pur muovendosi intorno al centro della prima, ruotava sopra sè stessa e nel medesimo verso. Questa nuova nebulosa potè dunque, col suo continuo raffreddamento, abbandonare sul suo contorno successivamente diversi anelli di materia nebulosa, e finire col formare un pianeta ruotante sopra sè stesso nel verso secondo il quale esso muovevasi intorno al sole; quanto agli anelli, comportandosi essi al pari di quelli che la nebulosa principale aveva essa medesima abbandonati, poterono dar origine ai satelliti di questo pianeta. Alcuni di questi anelli poterono presentare accidentalmente una regolarità affatto eccezionale, e conservare in conseguenza la loro forma primitiva fino all'epoca attuale: gli anelli di Saturno trovano dunque in ciò naturalissima spiegazione.

La materia riunitasi a una certa distanza d'un pianeta per formare un satellite dovette allungarsi nel verso della retta che lo congiunge al suo pianeta, a quella maniera che l'azione della luna determina un allungamento della superficie del mare secondo la retta che va dalla terra alla luna. Questo allungamento del satellite, ancora in stato fluido, molto maggiore di quello col quale lo abbiamo paragonato, dovette dare al satellite una

tendenza a volgere sempre i medesimi punti della sua superficie verso il centro del pianeta. In tal modo si spiega semplicissimamente la notevole circostanza che presenta la luna, e che Herschel credette ritrovare nei satelliti di Giove.

Vedesi che l'ipotesi emessa da Laplace sull'origine e la formazione del nostro sistema planetario dà pieno conto di tutte le particolarità che lo caratterizzano. Quasi assoluta coincidenza de'piani delle orbite dei pianeti, piccolezza delle eccentricità di queste orbite, identità nella direzione de'moti di rotazione e di rivoluzione di tutti i corpi del sistema; tutto si spiega nel modo più naturale e conformemente alle leggi della meccanica.

In questa ipotesi, il corpo d'un pianeta formato dalle condensazioni di cui abbiamo parlato dovette essere da prima una massa liquida presentante la forma d'uno sferoide schiacciato nel verso del suo asse di rotazione e circondato da un'atmosfera, residuo della nebulosa da cui ebbe origine. Questa massa liquida, continuando a raffreddarsi, si è a poco a poco solidificata su tutta la sua superficie. La crosta solida che ne è risultata si è in seguito insensibilmente sfigurata, e terminò col rompersi successivamente in diverse parti, a cagione della progressiva diminuzione del volume del liquido che rimaneva nel suo interno, in conseguenza del continuo abbassamento della sua temperatura. Nello stesso tempo, se l'atmosfera conteneva una grande quantità di vapore acqueo, questo vapore doveva somministrare colla sua condensazione delle masse enormi d'acqua, la cui presenza sulla superficie della crosta solida cagionava degradazioni di questa superficie e trasporti di materie, che terminavano col deporsi in strati orizzontali al fondo dei vasti bacini in cui queste acque si accumulavano; e un tal genere di fenomeno doveva riprodursi continuamente, in conseguenza di vaporizzazioni e condensazioni successive che l'acqua doveva provare a cagione della temperatura ancora elevata della superficie del globo da una parte, e del raffreddamento continuo dell'atmosfera che lo circondava dall'altra parte. È così che la formazione successiva dei terreni sulla superficie del globo terrestre, quale è giunta a spiegare la geologia, si rannoda naturalmente alle idee che ora abbiamo sviluppate.

Le comete che di tempo in tempo vengono a passare in vicinanza al sole non possono essere considerate come provenienti dalla nebulosa dalla quale abbiamo fatto dipendere la formazione del sole, dei pianeti e dei loro satelliti. Le inclinazioni talora tanto grandi dei piani delle loro orbite sul piano dell'eclit-

tica e la direzione del loro moto, che per le une è diretto, retrogrado per le altre, provano che questi astri hanno un'origine affatto diversa da quella che abbiamo assegnato a' pianeti. Le comete debbono essere considerate come piccole nebulose che si muovono nell'immensità, e che quando s'avvicinano al nostro sistema planetario trovansi trascinate in vicinanza del sole dall'attrazione che provano da parte di quest'astro; e dopo essersene avvicinate, esse se ne allontanano spesso per non più ritornare. Quando una cometa viene così a muoversi vicino al sole ed ai pianeti, le azioni che essa prova simultaneamente da parte di questi corpi possono modificare la natura della linea ch'essa

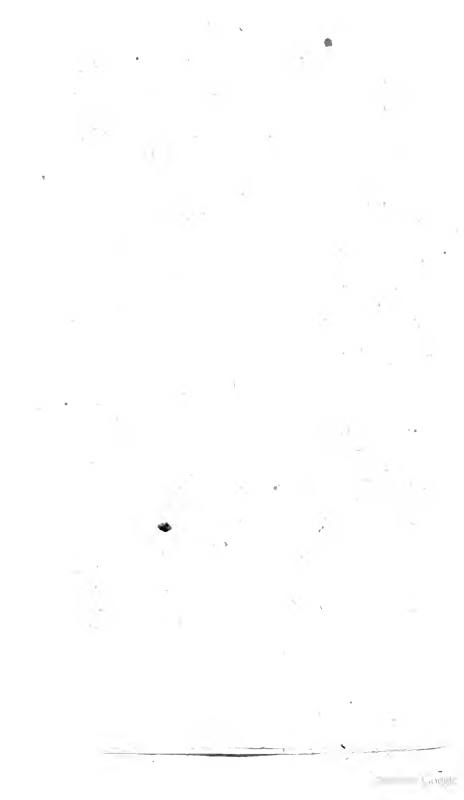
Fig. 405. (AR=168°33', D=13°55' B)

Fig. 406. (AR=167°30', D=14°1' B)

Fig. 407. (AR=181°49', D=14°6' B)

percorre, per modo da farla muovere secondo un'ellisse, il cui asse maggiore non sia eccessivamente grande; allora la cometa fa per così dire parte integrante del sistema planetario, e diventa una cometa periodica. Le quattro comete periodiche, di cui abbiamo parlato precedentemente, si trovano in questo caso; ma potrà accadere che le azioni perturbatrici che proveranno da parte dei pianeti, vicino ai quali esse verranno a passare, modifichino un giorno le loro orbite a tal punto che si allontaneranno indefinitamente da noi senza che le rivediamo mai più.

Si hanno alcuni esempi di comete il cui moto ebbe a subire alterazioni di questo genere per le azioni perturbatrici dei principali pianeti.

La luce zodiacale (155) si spiega facilmente nell'ipotesi di Laplace. Abbiamo detto che non si può considerarla come dovuta ad un'atmosfera del sole: infatti questa luce, stendendosi al di là delle orbite di Mercurio e di Venere, oltrepassa di molto il limite internamente al quale l'atmosfera del sole dev'essere contenuta, avuto riguardo alla velocità del suo moto di rotazione sopra sè stesso. Ma si può supporre che la materia nebulosa, abbandonata successivamente dalla nebulosa che ha formato il nostro sistema planetario, non siasi tutta condensata nelle diverse masse parziali donde sono usciti i pianeti; possono essere rimaste piccole quantità di questa materia, la quale continui a circolare intorno al sole a differenti distanze da quest'astro, e formanti col loro insieme una specie di nebulosa molto diffusa e di forma lenticolare, ciò che produrrebbe la luce zodiacale. Trovansi nel cielo diversi esempi di nebulose allungate, presentanti nel loro insieme precisamente la forma della nebulosa alla quale attribuiamo questa luce (fig. 405, 406, 407). Potrebbe anche accadere che la materia nebulosa che si sarebbe così sparsa in piccolissima quantità nello spazio che circonda il sole, e fino ad una distanza discretamente grande da questo astro, si fosse condensata pel raffreddamento in un gran numero di piccolissimi corpi, muoventisi ognuno separatamente intorno al sole e costituenti così un'innumerevole moltitudine di piccoli pianeti. Le stelle filanti (329) si spiegherebbero allora assai facilmente, ammettendo essere alcuni di questi piccoli corpi che vengono di tempo in tempo ad attraversare l'atmosfera della terra. Il periodico ritorno di certi massimi nell'apparizione delle stelle filanti tende a dare un certo peso a questa maniera di vedere.

APPENDICE

Pendolo di Galileo (*). — Vincenzo Viviani, in una lettera in data 20 agosto 1659 al Serenissimo Principe Leopoldo De-Medici, narra come nel 1641 cadesse in pensiero al Galileo, *che si saria potuto adattare il pendolo agli oriuoli da contrappesi e da molla, con valersene invece del solito tempo;* e che, essendo cieco, comunicasse il suo pensiero al proprio figlio Vincenzo, il quale, morto Galileo l'8 gennajo 1642, intraprese la costruzione del nuovo orologio soltanto nell'aprile 1649 senza poterlo condurre a termine, essendo egli pur morto il 16 del successivo maggio. Mediante la descrizione data dallo stesso Viviani del congegno inventato dal Galileo, il Prof. Veladini nel 1854 ne immaginò la costruzione, e ne fece anzi eseguire un modello rappresentato dalla fig. 408, il quale nell'essenziale per nulla differisce dal modello eseguito dallo stesso Vincenzo Galilei, quale venne posteriormente scoperto a Firenze (fig. 409). A mostrare il modo di operare di siffatto strumento basta citare le stesse parole del Viviani, avvertendo che le stesse lettere nelle due figure corrispondono alle parti analoghe.

Narra pertanto il Viviani che Vincenzo Galilei fece « nella » ruota più alta (A) detta delle tacche n. 12 denti (*a*, *b*, *c*,...), » con altrettanti pironi (*d*, *e*, *f*....) scompartiti in mezzo fra » dente e dente, e col rocchetto (B) nel fusto di n. 6, ed altra » ruota (C) che muove la sopradetta di n. 90. Fermò poi da » una parte (*g*) del bracciuolo che fa la croce al telajo, la chiave » o scatto (*gh*), che posa sulla detta ruota superiore (A); e » dall'altra imperniò il pendolo, che era formato di un filo di

(*) V. nn. 7 e 8, pag. 11 e seg.

» ferro (*m*), nel quale stava infilata una palla di piombo (D),
» che vi poteva scorrere a vite, a fine di allungarlo o scor-

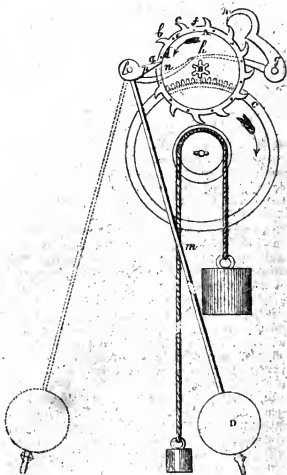



Fig. 403.

» ciarlo secondo il bisogno di aggiustarlo col contrappeso. Ciò
» fatto volle il sig. Vincenzo che io (Viviani) vedessi così per

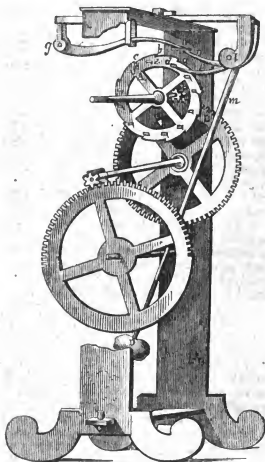



Fig. 409.

» prova, e più di una volta, la congiunta operazione del con-
» trappeso e del pendolo; il quale stando fermo tratteneva il
» discendere di quello, ma sollevato in fuori, e lasciato poi in
» libertà, nel passare oltre il perpendicolo, con la più lunga (n)

» delle due code annesse all'imperniatura (*l*) del dondolo, al-
» zava la chiave (*h*) che posa ed incastra nella ruota (A) delle
» tacche, la quale tirata dal contrappeso, voltandosi con le parti
» superiori verso il dondolo, con uno de' suoi pironi (*d*) cal-
» cava per di sopra l'altra codetta più corta (*p*), e le dava nel
» principio del suo ritorno un impulso tale, che serviva d'una
» certa accompagnatura al pendolo, che lo faceva sollevare fino
» all'altezza donde s'era partito; il qual ricadendo natural-
» mente, e trapassando il perpendicolo, tornava a sollevare la
» chiave (*h*), e subito la ruota delle tacche, in vigore del con-
» trappeso, ripigliava il suo moto, seguendo a volgersi e spi-
» gnere col pirone susseguente (*e*) il detto pendolo; e così in
» un certo modo si andava perpetuando l'andata e tornata del
» pendolo, sino a che il peso poteva calare a basso ».

Lo scappamento del Galileo, come nota il Prof. Veladini, riesce anche attualmente una pregevolissima novità; e se ora è rivendicata al sommo italiano la priorità dell'applicazione del pendolo come regolatore dell'orologio, ciò nulla detrae al merito dell'Huygens, che, ignaro dell'opera del Galileo, fece pure la medesima applicazione.

Orologi elettrici (*). — Da alcuni anni venne applicata l'elettricità agli orologi; nella quale applicazione debbonsi veramente distinguere due cose fra loro essenzialmente diverse, vale a dire: 1.° la *trasmissione elettrica* dell'ora indicata da un orologio ordinario; 2.° l'uso dell'elettricità come motore per conservare il moto di un pendolo, ciò che costituisce *l'orologio elettrico* propriamente detto. Gli apparecchi che stiamo per descrivere vennero immaginati da Froment bastantemente conosciuto pel suo talento e per la sua abilità.

La figura 410 rappresenta il meccanismo col quale una lancetta a secondi vien messa in moto sopra una mostra per mezzo dell'elettricità: il meccanismo trovasi situato dietro la mostra, il cui centro è attraversato dall'asse A, il quale da una parte porta la ruota B e dall'altra la lancetta che deve segnare i secondi. Una corrente elettrica periodicamente promossa ed interrotta circola intorno a due rocchetti C, C di un elettro-calamita: questa corrente entra sui rocchetti per uno dei due fili D od E, e ne esce per l'altro. Quando la corrente vi passa, l'elettro-calamita attrae il pezzo di ferro FG; l'estremità G di questo pezzo s'abbassa, e trae seco l'estremità H di un'asta

(*) Aggiunta dell'Autore dopo il n. 11, pag. 22.

HI articolata in I con un'altra asta I K, la quale non può che ruotare intorno al punto fisso K. Per l'abbassamento del pun-

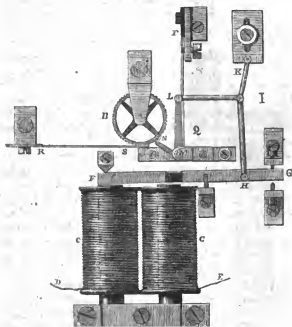



Fig 410.

to H si raddrizza la spezzata H I K, e in conseguenza di ciò l'asta I L articolata in I viene tirata verso questa retta; la leva ad angolo L M N su cui agisce quest'asta I L ruota intorno al suo fulcro M, ed il piccolo nottolino a molla portato dalla leva alla sua estremità N spinge la ruota B agendo sopra uno de' suoi denti, per modo di far avanzare la lancetta adattata all'asse di questa ruota dall'altra parte della mostra. L'estremità N del braccio di leva M N è inoltre così disposta, che elevandosi s'impegna tra i denti della ruota B, affine d'impedire che per l'impulsione del nottolino questa ruota non faccia più d'un sessantesimo di giro. Interrotta poscia la corrente elettrica, una lama a molla P Q agisce sulla leva L M N riconducendola nella sua primitiva posizione, così come gli altri pezzi mobili I L, K I, I H, F G, che trovansi congiunti con

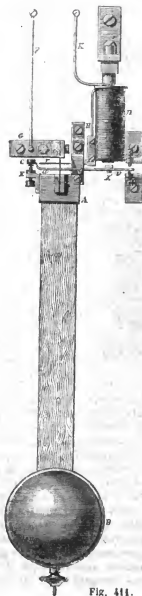



Fig. 411.

questa leva. E perchè la ruota B non venga in questo punto a retrocedere, un'appendice triangolare, portata all'estremità dell'altra lama a molla R S, s'impegna tra due denti di questa ruota, e la lancetta è così trattenuta immobile, finchè, per una nuova impulsione del nottolino N non venga di nuovo a fare un sessantesimo di giro; e così di seguito. Comprendesi ora facilmente, che basta che la corrente elettrica si riproduca successivamente ad intervalli di un secondo esattamente, perchè la lancetta mossa da questo meccanismo venga a segnare i minuti secondi; al che assai facilmente si può pervenire pel mezzo del moto periodico del pendolo d'un orologio ordinario; e l'ora segnata da questo orologio viene così trasmessa alla mostra, la quale può anche essere collocata a qualsivoglia distanza dall'orologio. Gli è inutile aggiungere come il moto della lancetta, di cui si è parlato, può coi mezzi ordinarii venir comunicato a due altre lancette destinate a segnare sulla stessa mostra i minuti e le ore. Per mezzo della descritta disposizione un solo orologio può anche indicare l'ora sopra un gran numero di mostre collocate, per esempio, in diverse parti di una città.

La figura 411 rappresenta un *orologio elettrico* propriamente detto. Esso è costituito essenzialmente di un pendolo A B; di un piccolo peso C, destinato ad agire a intervalli su questo pen-

dolo per conservarne il movimento; e di un elettro-calamita D, la quale serve a sollevare il peso C ad ogni volta che si è abbassato, dando un'impulsione al pendolo. Il pendolo è sospeso per mezzo di due lame d'acciaio *m*, *n*, come nella figura 11: la sua asta è di legno d'abete verniciato, e alla sua estremità A porta una guarnitura metallica munita di una punta E, che viene precisamente a terminare al di sotto del peso C, il qual peso è inoltre fissato all'estremità di una lama d'acciaio flessibilissima *r s*. Quando la punta E, che porta lateralmente l'asta del pendolo, viene a toccare la faccia inferiore del piccolo peso C, si determina la corrente elettrica che circola intorno al rocchetto dell'elettro-calamita D; questa corrente giungendo, per esempio, per mezzo del filo F, passa successsivamente pel supporto fisso G nelle lame di sospensione *m*, *n*, nella guernitura metallica A, poscia nella punta E, nel peso C, nella lama *r s*, e si reca per mezzo del filo H nell' elettro-calamita, per uscirne per mezzo del filo K. Quando per effetto dell' oscillazione del pendolo la punta E viene ad abbandonare il peso C, la corrente rimane interrotta; e di nuovo si ristabilisce quando la punta E ritorna in contatto col peso C. Finalmente una leva *u v*, mobile intorno al suo punto di mezzo, ed incurvata verso il suo estremo *u*, porta in X un pezzo di ferro posto di contro ai poli dell' elettro-calamita. Suppcniamo che il pendolo durante il suo moto oscillatorio trovisi a sinistra della sua naturale posizione d'equilibrio, per cui la punta E sia in contatto col peso C: la corrente elettrica, che allora scorre lungo l'indicato circuito, determina l'attrazione dell' elettro-calamita sul pezzo di ferro X; perciò l'estremità *u* della leva *u v* s'abbassa, e la lama *r s*, non appoggiando più su questa estremità incurvata *u* della leva, fa si che il peso C s' appoggi per intiero sulla punta E, dando un impulsione al pendolo; e mano mano che il pendolo s'avanza da sinistra verso destra la punta E si abbassa, e con essa il peso C; ma ben tosto la lama *r s* viene ad appoggiarsi sull' estremità *u* della leva *u v*, e continuando il pendolo a moversi nello stesso verso, la punta E abbandona il peso C: da quest'istante rimane interrotta la corrente elettrica; il pezzo di ferro X, non essendo più sostenuto dall'elettro-calamita, ricade pel suo peso in guisa da sollevare l' estremità *u* della leva, e riportare così il peso C ad una certa altezza. Quando il pendolo ritorna verso sinistra, la punta E riascende senza provare resistenza da parte del peso C, il quale è sostenuto dalla leva *u v*; ma bentosto la punta E raggiunge il peso C, si ristabi-

lisce la corrente, la leva *u v* sotto l'azione dell'elettro-calamita si muove intorno al suo fulcro abbandonando il peso C, che può allora appoggiarsi sulla punta E, per modo che, quando il pendolo riprende il suo moto da sinistra verso destra, questo peso gli imprime un nuovo impulso, e così di seguito. L'amplitudine del moto della leva *u v*, e quindi anche la grandezza della caduta del peso C per tutto il tempo che s'appoggia sulla punta E, sono regolate per mezzo di due viti, tra le punte delle quali passa l'estremità *v* della stessa leva *u v*; e facendo variare la distanza delle punte di queste due viti, si consegue una corrispondente variazione nell'amplitudine permanente delle oscillazioni del pendolo; e pertanto si può produrre nel pendolo un moto oscillatorio di determinata amplitudine. Per la grande semplicità di questo apparecchio, e per la regolarità dell'azione del peso C nel conservare il moto del pendolo, resta evidentemente assicurato l'isocronismo delle oscillazioni del pendolo; e un simile orologio, quando sia costruito con quelle diligenti cure che Froment è uso di recare in tutte le opere sue, deve certamente gareggiare con vantaggio coi migliori orologi a pendolo ed a peso.

È facile il vedere, che basta che il filo conduttore dei rocchetti della fig. 410 faccia parte del circuito elettrico della figura 411, perchè il moto d'oscillazione del pendolo di quest'ultima figura trasmetta il moto ad una lancetta a secondi per mezzo del meccanismo rappresentato dalla prima. Ma perchè ciò avvenga è duopo che il pendolo abbia tale lunghezza, che ciascuna sua oscillazione si compia in un mezzo secondo, per modo che ognuno de' suoi movimenti completi, composto di una oscillazione da sinistra a destra e di una oscillazione da destra a sinistra, venga a corrispondere ad un minuto secondo.

Perfezionamenti nei mezzi d'osservazione (*). — Raccogliamo qui le più recenti notizie risguardanti il progresso raggiunto nella costruzione dei mezzi d'osservazione.

Porro, direttore dello stabilimento tecnomatico a Parigi, costrusse un grande obbiettivo acromatico dell' apertura di $0^{m},52$, e della distanza focale di 15^{m}: il flint è di Guinand, il crown di Maës: la macchina per pulire la lente è d' invenzione dello stesso Porro.

L'osservatorio di Parigi fece acquisto dei due dischi giganteschi di flint e di crown fusi nella vetreria di Oldway presso

(*) In aggiunta agli *Strumenti che servono ad aumentare la potenza della vista* (pag. 67).

Birmingham, e che figurarono all'esposizione universale del 1855; e dai quali, lavorati da Secretan sotto la direzione di Leverrier e Foucault, si spera di ottenere un obbiettivo di 73 centimetri d'apertura.

Nella seduta del 10 febbrajo del 1857 Leverrier presentò all'Accademia delle scienze di Parigi dei nuovi specchi da telescopj ottenuti da Foucault, formati di vetro inargentato. Ma prima di Foucault, Steinheil a Monaco aveva costruiti specchi in questa maniera; e lo stesso Steinheil annuncia aver Liebig di tanto perfezionati i processi d'argentatura, che chiunque potrebbe ottenere specchi di qualsivoglia grandezza e senza difetto, rivestiti di uno strato d'argento così fine e sottile, che osservandosi il sole per riflessione, vi si vegga un disco esattamente conterminato di luce azzurra. Steinheil ha applicato a un circolo meridiano un telescopio a specchio di vetro argentato dell'apertura di 15 centimetri, e di un metro di distanza focale: pare però che il limite a cui egli sia sinora arrivato sia di 18 centimetri (6 pollici e $^1/_2$) d'apertura, mentre Foucault ottenne specchi perfetti di 25, 33 e 40 centimetri d'apertura.

Secondo le sperienze di Steinheil cotali specchi di vetro argentato presenterebbero l'importantissimo vantaggio d'una piccolissima perdita di luce; per modo che supposto che la luce venga riflessa sotto un angolo di 45°, la perdita fatta per la riflessione da uno specchio argentato sarebbe soltanto $\frac{89}{1000}$ della luce incidente, mentre la perdita fatta da uno specchio di vetro amalgamato sarebbe di $\frac{253}{1000}$, e quella fatta da uno specchio metallico secondo la lega di Rosse sarebbe di $\frac{328}{1000}$ Tale risultato così favorevole per gli specchi argentati è da taluno rivocato in dubbio. (V. pag. 67).

Altri vantaggi importantissimi per altro raccomanderebbero la nuova invenzione, quali sarebbero il tenue costo dello strumento, la facilità della costruzione, e quindi anche di ridonare la pulitura allo specchio qualora venisse a perderla, e la mancanza di aberrazione di rifrangibilità; il quale ultimo vantaggio, come fu già rimarcato, possono aver sempre gli specchi in confronto alle lenti.

Il grande specchio di 40 centimetri di Foucault venne montato secondo il sistema newtoniano, sostituendo però un prisma a riflessione totale al piccolo specchio, e munendolo di un oculare a quattro lenti. La superficie del grande specchio non è nè sferica nè parabolica, ma lavorata a tentativi, in guisa che, per mezzo del prisma a riflessione totale e dell'oculare sieno completamente corretti gli errori di aberrazione dipendenti dalla

figura. Ad impedire poi la flessione e la deformazione dello specchio, Foucault lo collocò su di un cuscino di gomma elastica vuoto internamente e gonfiato d'aria.

Al principio di quest' anno 1860, Balaincy ha costruito uno specchio di vetro platinato, seguendo un processo di Barral. Tali specchi resisterebbero meglio degli inargentati alle azioni esteriori che tendono a guastarli, mentre il loro prezzo sarebbe soltanto di poco maggiore. L'uso di specchi platinati sarebbe già stato proposto prima di Balaincy in Germania ed in Russia.

Anche la fotografia venne a prestare un potente soccorso allo studio dei fenomeni celesti. Warren de la Rue, del nuovo osservatorio di Cranford presso Londra, ottenne sulle ordinarie lamine collodionate le immagini della Luna e di Giove, le quali, ingrandite mediante un microscopio a projezione con luce elettrica, possono produrre gigantesche immagini di questi astri. Così nell'immagine della Luna del diametro di sei piedi si poterono osservare distintamente il cono di Ticone, il doppio cono di Copernico, i bordi ben decisi dell'Aristarco, le linee più chiare che solcano le vette delle catene dei monti, e tutti i più minuti accidenti della superficie del nostro satellite; e nelle immagini di Giove apparirono distintamente le fasce ed i satelliti. Warren spera con tal mezzo di ottenere una completa selenografia.

Le stelle, nè solo quelle di maggior grandezza, ma anche le più piccole ed invisibili ad occhio nudo, lasciano la loro impronta sulla carta fotografica. Così Bond in soli due o tre secondi di tempo potè ritrarre le immagini di ζ e γ dell' Orsa maggiore (*Mizar* ed *Alcor*); in 10 secondi di tempo ottenne la distinta impronta del satellite di *Mizar*, distante da questa 14″ in arco; ed in un istante impercettibile le stelle di prima grandezza, come α della Lira (*Vega*); e non gli occorsero che alcuni secondi per avere l'immagine del suo satellite che è di settima grandezza.

Sottoposte le immagini di Mizar e del suo satellite ad un microscopio, Bond potè determinare la distanza de'loro centri, la quale presentò la differenza di solo $^1/_{10}$ di minuto secondo in arco con quella ottenuta direttamente da Struve colle misure micrometriche eseguite mediante il suo gran rifrattore; e v' ha luogo a credere doversi ritenere forse più esatta quella desunta dal disegno fotografico.

Nell'eclisse di sole del marzo 1858 Faye e Quinet ne eseguirono l'immagine fotografica mediante il grande rifrattore di

Porro, la quale riesci più distinta dell'immagine veduta direttamente col cannocchiale medesimo, e le misure micrometriche eseguite sull'immagine fotografica riescirono più esatte di quelle fatte direttamente col cannocchiale.

Anche l'andamento presentato dalla coda della cometa di Donati venne studiato mediante la fotografia.

Sui livelli a bolla d'aria (*). — L'illustre Professore Belli recentemente defunto, fino dal 1827 aveva fatto rimarcare che nei livelli a bolla d'aria, quando per qualsiasi cagione la bolla venga ad avere le due estremità inegualmente calde, essa muovesi avanzandosi verso la parte più riscaldata; ed aveva pure data la spiegazione di un tal fatto, attribuendolo alla diminuzione nell'azione capillare dell'alcoole contenuto nel livello, prodotta dal calore come già era stato preveduto da Laplace. In conseguenza di questo fatto i livelli a bolla d'aria sono in molte circostanze mal sicuri, ed in ispecie l'azione ineguale del calore solare ne rende inesatte le indicazioni; al che è duopo aver riguardo, tanto più quando trattasi di osservazioni assai dilicate quali sono le astronomiche.

Lo stesso fenomeno venne in seguito osservato da molti altri, e venne poscia studiato più accuratamente nel 1844 dal sig. Liagre luogotenente del Genio belgico; il quale trovò che gli errori nei quali si può incorrere facendo uso di livelli a bolla d'aria, possono, nelle ordinarie circostanze, giungere agevolmente a più minuti secondi, e nei casi estremi anche al di là di un minuto primo.

A togliere tali inconvenienti lo stesso Liagre suggerisce poi di cingere il livello a bolla d'aria con un secondo tubo di un diametro doppio del primo, riempiendo interamente l'intervallo fra i duo tubi con acqua colorata in azzurro della più cupa tinta, che permetta ancora di leggere comodamente le divisioni segnate sul tubo esterno: una delle estremità del tubo esterno si chiude poi con un turacciolo di gomma elastica, il quale, per la sua elasticità, segue il liquido colorato nelle sue contrazioni e dilatazioni, e impedisce che il tubo esterno si rompa in estate o lasci del voto in inverno. Per tal modo la bolla si trova circondata in tutti i lati da una eguale quantità di liquido, e non è soggetta a rapida ineguaglianza di temperatura, mentre il colore azzurro serve ad assorbire vie meglio il calorico raggiante. Secondo il sig. Liagre converrebbe che i

(*) V. n. 42, pag. 92 e 93.

due cilindri si toccassero longitudinalmente per di sotto; ma venne fatto notare dal Prof. Brioschi raggiungersi anche meglio l'intento facendo coincidere gli assi dei due tubi. Se con tale modificazione il livello si rende alquanto più pesante, oltre al perdere gl'inconvenienti in esso rimarcati, è meno soggetto a rompersi essendo difeso dal tubo esterno, il quale, se anche si rompesse, facilmente si potrebbe rimettere, e il danno sarebbe assai minore, non avendo questo bisogno di forma regolare, come il tubo interno.

Sull'altezza dell'atmosfera (*). — Da osservazioni fatte nella zona intertropicale da Liais sopra archi crepuscolari e di polarizzazione al principio dell'aurora ed alla fine del crepuscolo vespertino, deriverebbe doversi ritenere l'altezza dell'atmosfera ascendere a 340 chilometri, vale a dire a circa il sestuplo di quella ordinariamente attribuitale. Questo risultato meglio s'accorderebbe colle più recenti osservazioni di bolidi, le cui altezze desunte dal calcolo risultarono assai maggiori dell'altezza comunemente attribuita all'atmosfera.

Strumenti azimutali (**). — Babinet propose di sostituire strumenti azimutali agli strumenti meridiani destinati ad osservazioni astronomiche d'altezza. Per tal modo verrebbero ad elidersi i molti inconvenienti inseparabili dalla misurazione di angoli nel piano meridiano, i principali dei quali sarebbero: 1.° L'incertezza delle correzioni dipendenti dalla rifrazione, a cui è duopo aggiungere l'incertezza medesima delle osservazioni termometriche e barometriche, mentre gli azimuti sono per nulla influenzati dalla rifrazione, essendo che questa si opera tutta in un piano verticale; 2.° La flessione ed il cambiamento di forma dei lembi circolari mobili derivanti dal loro peso, e il cui errore è impossibile sottoporre a calcolo, attesa la forma complicata dello strumento: tali inconvenienti non si riscontrano nei circoli azimutali, per cui questi circoli sono anche suscettibili di dimensioni assai maggiori di quelle dei circoli verticali; 3.° La sfigurazione delle immagini delle stelle, le quali, per la diversa dispersione prodotta dall'atmosfera, assumono forma allungata verticalmente e di diversa intensità luminosa nei diversi punti della loro lunghezza; per cui deriva essere incerta la collimazione di una stella su di un filo orizzontale, come si pratica pei circoli verticali, mentre un tal errore resta totalmente eli-

(*) V. n. 56, pag. 120 e 121.
(**) Seguito alla nota al n. 88 pag 196.

minato quando si collimi su di un filo verticale, come si opera nei circoli azimutali.

Sulla figura e grandezza della terra (*). — Dal confronto delle misurazioni di otto archi di meridiano, Schubert è arrivato recentemente alla conclusione, doversi attribuire all'equatore terrestre la forma ellittica invece della circolare, essendo che in tal caso i risultati del calcolo meglio s'accordano con quelli delle osservazioni: la terra per tal modo si dovrebbe considerare come di forma ellittico-ellittica, cioè come un'ellissoide a tre assi diseguali. Da suoi calcoli deriverebbe pure che il semi-asse minore della terra sarebbe di metri 6 356 600, 9; e che i due semi-assi dell'equatore sarebbero, il maggiore di metri 6 378 436, 7, ed il minore di metri 6 376 809, 9. Gli estremi dell'asse maggiore equatoriale avrebbero per longitudine (dall'isola del Ferro) 58° 44′ e 238° 44′, e gli estremi dell'asse minore 148° 44 e 328° 44′. In questa ipotesi lo schiacciamento terrestre non sarebbe in ogni verso lo stesso: il massimo schiacciamento ammonterebbe a $^1/_{242}$, il minimo a $^1/_{302}$; per cui il medio schiacciamento sarebbe di un $^1/_{297}$.

Seguito dell'elenco degli asteroidi (**). — L'elenco degli asteroidi in ordine alla loro scoperta venne redatto nell'aprile 1855, e quindi appena dopo lo scoperta dell'ultimo ivi annoverato, al quale fu attribuito il nome di *Circe*. Vennero in seguito scoperti i seguenti asteroidi.

Leucotea, da Luther a Bilk, il 19 aprile 1855; la sua distanza dal sole è 3,00.

Atalanta, da Goldschmidt a Parigi, il 5 ottobre 1855; la sua distanza dal sole è 2,75.

Fede, da Luther a Bilk, il 5 ottobre 1855; la sua distanza dal sole è 2,64.

Leda, da Chacornac a Parigi, il 12 gennajo 1856; la sua distanza dal sole è 2,74.

Letizia, da Chacornac a Parigi, l' 8 febbrajo 1856; la sua distanza dal sole è 2,77.

Armonia, da Goldschmidt a Parigi, il 31 marzo 1856; la sua distanza dal sole è 2,27.

Dafne, da Goldschmidt a Parigi, il 22 maggio 1856; la sua distanza dal sole è 2,40.

Iside, da Pogson ad Oxford, il 25 maggio 1856; la sua distanza dal sole è 2,44.

(*) Nota ai nn. 106 e seg, pag. 230 e seg.

(**) V. n. 264, pag. 547.

Arianna, da Pogson ad Oxford, il 16 aprile 1857; la sua distanza dal sole è 2,20.

Nisa, da Goldschmidt a Parigi, il 27 maggio 1857; la sua distanza dal sole è 2,42.

Eugenia, da Goldschmidt a Parigi, il 27 giugno 1857; la sua distanza dal sole è 2,72.

Estia, da Pogson ad Oxford, il 16 agosto 1857; la sua distanza dal sole è 2,52.

Aglaja, da Luther a Bilk, il 15 settembre 1857; la sua distanza dal sole è 2,88.

Doride, da Goldschmidt a Parigi, il 19 settembre 1857; la sua distanza dal sole è 3,11.

Pale, da Goldschmidt a Parigi, il giorno stesso 19 settembre 1857; la sua distanza al sole è 3,09.

Virginia, da Ferguson a Washington, il 4 ottobre 1857; quindi da Luther a Bilk, il 19 ottobre; la sua distanza dal sole è 2,65.

Nemausa, da Laurent a Nimes, nell' osservatorio di Valz, il 22 gennajo 1858; la sua distanza dal sole è 2,57.

Europa, da Goldschmidt a Parigi, il 4 febbrajo 1858; la sua distanza dal sole è 3,10.

Calipso, da Luther a Bilk, il 4 aprile 1858; la sua distanza dal sole è 2,62.

Alessandra, da Goldschmidt a Parigi, il 10 settembre 1858; la sua distanza dal sole è 2,71.

Pandora, da Searle ad Albany (America), il 10 settembre 1858; la sua distanza dal sole è 2,76.

Anonimo, osservato da Goldschmidt a Parigi sino dal 9 settembre 1857, e preso per errore per Dafne; dai calcoli di Schubert di Berlino risultò essere nn novello pianeta che sarebbe il 47.° in ordine di scoperta, ma che non è che il 56.° contando dal tempo in cui venne accertato come un novello pianeta; comunemente è indicato col nome di *Pseudo-Dafne;* la sua distanza dal sole è 2,58.

Mnemosine, da Luther a Bilk, il 22 settembre 1859; la sua distanza dal sole è 3,16.

Concordia, da Luther a Bilk, il 4 marzo 1860; la sua distanza dal Sole è 2, 68.

A questo elenco facciamo susseguire di nuovo i principali elementi dei piccoli pianeti, quali risultano dalle più recenti determinazioni secondo i dati somministrati dall'*Annuario astronomico di Berlino* pel 1862 (*).

(*) V. pag. 549.

GRUPPO DEI PICCOLI PIANETI

NOMI dei pianeti.	DISTANZE medie dal sole.	DURATE delle rivoluzioni in giorni.	DURATE delle rivoluzioni in anni	ECCENTRICITA'	INCLINAZIONI
Fiora. . . .	2,201 39	1 193 g. 005	3 an. 27	0,156 70	5° 53′ 8″
Arianna . .	2,203 10	1 194, 400	3, 27	0,167 28	3 27 39
Armonia. .	2,267 38	1 247, 047	3, 41	0,046 21	4 15 46
Melpomene	2,296 76	1 274, 296	3, 48	0,217 10	10 8 52
Vittoria . .	2,334 38	1 302, 730	3, 57	0,218 92	8 23 19
Euterpe . .	2,346 83	1 313, 167	3, 60	0,172 96	1 35 31
Vesta. . . .	2,360 73	1 324, 858	3, 63	0,090 12	7 8 17
Urania . . .	2,365 24	1 328, 654	3, 64	0,127 87	2 6 2
Nemausa. .	2,367 79	1 330, 800	3, 64	0,067 00	9 36 38
Iride	2,386 35	1 346, 475	3, 69	0,231 25	5 27 57
Metide . . .	2,386 59	1 346, 618	3, 69	0,122 92	5 35 57
Dafne . . .	2,400 32	1 358, 322	3, 72	0,202 49	15 48 23
Focea . . .	2,400 35	1 358, 346	3, 72	0,254 42	21 34 44
Massalia . .	2,408 87	1 365, 585	3, 74	0,150 00	0 41 7
Nisa	2,424 16	1 378, 607	3, 77	0,149 33	3 41 41
Ebe	2,425 34	1 379, 646	3, 78	0,204 15	14 46 31
Lutezia. . .	2,435 44	1 388, 238	3, 80	0,162 05	3 5 9
Iside	2,440 00	1 392, 136	3, 81	0,225 63	8 34 32
Fortuna . .	2,441 36	1 393, 301	3, 81	0,157 23	1 32 31
Partenope .	2,452 60	1 402, 937	3, 84	0,098 58	4 36 59
Tetide . . .	2,474 20	1 421, 511	3, 89	0,127 23	5 36 2
Estia. . . .	2,517 39	1 458, 893	3, 99	0,161 52	2 17 11
Anfitrite . .	2,553 94	1 490, 777	4, 08	0,072 18	6 7 55
Astrea . . .	2,576 50	1 510, 581	4, 14	0,189 99	5 19 35
Egeria . . .	2,578 00	1 511, 015	4, 14	0,087 86	16 31 47
Pseudo-Daf.	2,583 46	1 516, 699	4, 15	0,227 02	7 56 2
Pomona . .	2,589 04	1 521, 620	4, 17	0,077 43	5 28 49
Irene. . . .	2,589 50	1 522, 027	4, 17	0,163 74	9 7 5
Calipso . .	2,618 55	1 547, 704	4, 24	0,206 71	5 6 59
Talia	2,628 07	1 556, 156	4, 26	0,231 93	10 13 12
Fede	2,642 15	1 568, 676	4, 29	0,174 97	3 7 11
Eunomia. .	2,644 20	1 570, 509	4, 30	0,186 87	11 44 4
Virginia . .	2,648 63	1 574, 451	4, 31	0,286 95	2 47 54
Proserpina.	2,656 08	1 581, 100	4, 33	0,087 52	3 35 40
Giunone . .	2,670 37	1 593, 884	4, 36	0,255 52	13 2 58
Concordia .	2,680 21	1 602, 691	4, 39	0,054 66	5 15 31
Circe	2,685 29	1 607, 252	4, 40	0,108 73	5 26 52
Alessandra.	2,707 65	1 627, 374	4, 46	0,199 00	11 47 9

NOMI del pianeti.	DISTANZE medie dal sole.	DURATE delle rivoluzioni. in giorni.	in anni.	ECCEN-TRICITA'	INCLINA-ZIONI
Eugenia . .	2,719 38	1 637, 960	4, 48	0,082 18	6 34 56
Leda	2,739 98	1 656, 605	4, 54	0,155 53	6 58 26
Atalanta . .	2,748 71	1 664, 524	4, 56	0,297 90	18 42 11
Pandora . .	2,759 83	1 674, 638	4, 58	0,142 01	7 13 30
Cerere . . .	2,765 53	1 679, 827	4, 60	0,080 57	10 36 33
Pallade. . .	2,769 10	1 683, 084	4, 61	0,239 84	34 43 3
Letizia . . .	2,770 60	1 684, 447	4, 61	0,111 03	10 20 58
Bellona . .	2,778 42	1 691, 590	4, 63	0,150 11	9 21 24
Polinnia . .	2,866 53	1 772, 692	4, 85	0,336 74	1 56 41
Aglaja . . .	2,881 48	1 736, 571	4, 89	0,129 50	5 0 14
Calliope . .	2,909 05	1 812, 276	4, 96	0,103 69	13 44 52
Psiche . . .	2,923 71	1 825, 998	5, 00	0,134 62	3 4 4
Leucotea. .	3,001 46	1 899, 316	5, 20	0,213 72	8 12 11
Pale	3,085 94	1 980, 060	5, 42	0,237 80	3 8 34
Europa. . .	3,100 70	1 994, 382	5, 46	0,101 50	7 24 41
Doride. . .	3,109 42	2 002, 935	5, 48	0,076 95	6 29 41
Temide . .	3,141 98	2 034, 248	5, 57	0,117 01	0 48 53
Igea	3,149 37	2 041, 427	5, 59	0,100 56	3 47 9
Mnemosine.	3,155 20	2 047, 093	5, 60	0,106 13	15 4 31
Eufrosina .	3,156 16	2 048, 030	5, 61	0,216 02	26 25 12

Pianeti intermercuriali (*). — Nella seduta del 12 settembre 1859 dell'Accademia delle scienze di Parigi, Leverrier fece presente non potersi accordare il moto secolare del perielio di Mercurio assegnato dalla teoria con quanto veniva dedotto dalle osservazioni. Il detto astronomo non rinveniva altra plausibile spiegazione di siffatta anomalia che quella dell'azione perturbatrice di uno o più pianeti situati tra Mercurio ed il Sole.

Ben presto si venne a sapere che Lescarbault, medico condotto a Orgères dipartimento d'Eure e Loire, il 25 marzo 1859 ebbe ad osservare il passaggio di un piccolo pianeta sul disco del Sole. Dai risultati delle osservazioni di Lescarbault, Leverrier potè dedurre, che, supposta circolare l'orbita del pianeta, la sua distanza dal Sole sarebbe 0,1427, presa per unità la media distanza della Terra dal Sole; che il pianeta impiegherebbe giorni 19,7 a compiere una rivoluzione intorno al Sole; che l'inclinazione della sua orbita al piano dell'eclittica sa-

(*) Aggiunta al n. 278, pag. 573.

rebbe di 12° 58′ 52″. Siccome a Lescarbault il pianeta sarebbe apparso del diametro minore di un quarto di quello di Mercurio, all'epoca del passaggio di questo pianeta sul disco del Sole nel 1845, così Leverrier potè dedurne, che, supposta la densità del nuovo pianeta uguale a quella di Mercurio, la sua massa sarebbe $^1|_{17}$ di quella di quest'ultimo pianeta, epperò troppo piccola a spiegare la perturbazione da esso rimarcata in Mercurio; per il che sarebbe necessario ammettere l'esistenza di più altri pianeti intermercuriali.

Prima dell'osservazione di Lescarbault, parecchie altre osservazioni alludevano a passaggi di pianeti sul disco del Sole; e dall'esame di venti di questi passaggi osservati dal 1761 al 1859 parrebbe a Wolf di Zurigo potersi ammettere almeno l'esistenza di tre pianeti intermercuriali. Combinando l'osservazione di Lescarbault con alcune altre di questi passaggi come riferibili al medesimo pianeta, lo stesso Wolf ed altri determinarono altre orbite diverse da quella trovata da Leverrier.

Pel nuovo pianeta di Lescarbault venne proposto il nome di *Vulcano*.

Liais nega l'osservazione di Lescarbault e l'esistenza di pianeti intermercuriali.

Comete periodiche (*). — Una nuova cometa scoperta nel 1857 da Bruhns a Berlino, dopo alcune osservazioni si rivelò al calcolo per la stessa cometa di Brorsen. La periodicità di questa cometa è ora pertanto accertata, ed i suoi elementi rassomigliano molto a quelli delle comete osservate nel 1532 e nel 1661.

Anche la cometa di D'Arrest venne osservata al suo ritorno nel 1857 al Capo di Buona Speranza: così anche di questa è accertata la periodicità.

Di due altre comete venne accertata la periodicità, cioè la *prima* e la *seconda* cometa del 1858. La *prima*, scoperta da Tuttle a Cambridge in America il 4 gennaio di quell'anno, e quindi scoperta anche da Bruhns a Berlino l'11 dello stesso mese, dietro discussione di un gran numero di osservazioni fatte dallo stesso Bruhns, venne riconosciuta corrispondere alla seconda cometa del 1790 scoperta da Mèchain: il suo periodo sarebbe di anni 13, 7, per cui essa dopo il 1790 sarebbe ritornata quattro volte senza essere stata veduta.

La *seconda*, scoperta l'8 marzo a Bonn da Winnecke, venne bentosto dallo stesso riconosciuta per la *terza* del 1819, asse-

(*) V. n. 284, nota pag. 598 e seg.

gnandovi una rivoluzione di circa anni 5 ½, come per quella del 1819 già aveva trovato Encke: in nessuno dei sei ritorni compresi tra queste due apparizioni questa cometa non era mai stata veduta.

Quanto alla gran cometa del 1858, la *quinta*, scoperta da Donati a Firenze il 2 giugno, se dessa ebbe a destare vivissimo interesse anche agli astronomi pei fenomeni fisici presentati, e la cui lunga coda aveva un incurvamento pronunciatissimo (V. n. 281 pag. 586); il periodo che ne fu trovato sarebbe assai lungo, ammontando ad oltre 2000 anni.

In quella vece Axel Möller avrebbe assegnato un periodo di circa 255 anni alla *quarta* cometa del 1857, e Westphal avrebbe assegnato il periodo di anni 60 ⅔ alla cometa da esso scoperta il 24 luglio 1852; per cui questa cometa, quanto alla durata del suo periodo sarebbe paragonabile a quella di Halley ed a quella del 1815 di Olbers, cui venne assegnato un periodo di 74 anni.

Da ciò si vede che oramai le comete a periodo bene accertato per verificati ritorni debbonsi ritenere *otto*, cioè, disponendole in ordine del loro periodo, quelle di Encke, di Winnecke, di Brorsen, di D'Arrest, di Biela, di Faye, di Tuttle e Brunhs, e di Halley.

Aggiungiamo i principali elementi delle nuove comete.

NOMI delle comete	DISTANZE			DURATA delle rivoluzioni		ECCENTRICITA'	INCLINAZIONE	DIREZIONE del moto	NOME dei calcolatori
	medie	perielie	afelie	in giorni	in anni				
Winnecke	3, 134 26	0, 768 92	5, 499 68	2027	5, 55	0, 754 07	10° 48′ 4″	diretto	Winnecke
Tuttle e Bruhns	5, 726 01	1, 025 51	10, 426 51	5005	15, 70	0, 820 90	54 24 10	diretto	Bruhns

Fig. 413 (giugno 26).

Fig. 412 (giugno 25).

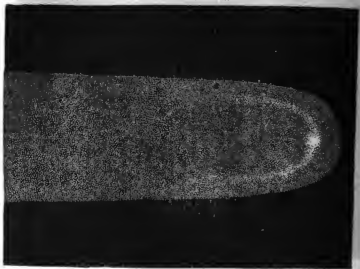



Fig. 415 (giugno 29)

Fig. 414 (giugno 27).

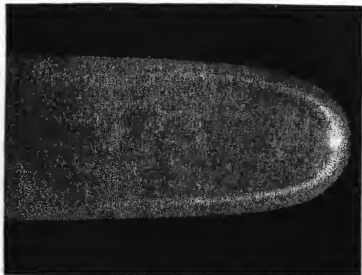



Fig 417 (luglio 2).

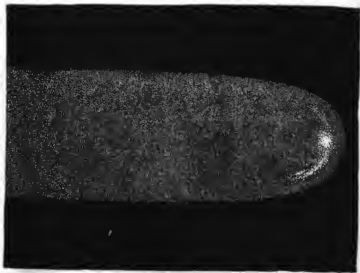



Fig 416 (giugno 30).

Fig. 418 (luglio 6).

Della bella cometa, la III, del 1860 apparsa alla fine del giugno di quest'anno, ma che rimase visibile per pochi giorni, porgiamo qui le apparenze, quali vennero osservate a Milano, da cui emerge ancora la grande mutabilità di questi astri: singolare fra tutte fu quella del 27 giugno. Di questa cometa non venne assegnato ancora alcun periodo, mentre finora non vennero calcolate per essa che orbite paraboliche.

Massa di Mercurio (*). — Dalla discussione delle osservazioni fatte dall'anno 1819 al 1848 sulla cometa a breve periodo da lui denominata, allo scopo di meglio determinare l'influenza della resistenza d'un mezzo (V. la nota *a* pag. 595), Encke ebbe recentemente ad assegnare a Mercurio la massa di $\frac{1}{5471742}$, presa per *unità* la massa del Sole.

Questo risultato devesi certamente ritenere più probabile della massa già assegnata da Laplace allo stesso pianeta, fondandosi sopra considerazioni quasi affatto ipotetiche, e che ciò non ostante venne ancora adottata dal Delaunay.

In corrispondenza a questo nuovo ritoccamento, la *gravità* alla superficie di Mercurio dovrebbe ritenersi espressa da 0,71, presa per *unità* quella alla superficie della Terra (V. pag. 652); un corpo abbandonato a sè sulla superficie di Mercurio, nel primo secondo di caduta percorrerebbe metri 3,49; e finalmente la densità di Mercurio sarebbe eguale a 1,80, presa per *unità* quella della Terra, ovvero 9,77, presa per *unità* quella dell'acqua distillata (V. pag. 685).

(*) V. n. 298, pag 630.

FINE

INDICE DELLE MATERIE

CAPITOLO PRIMO.

Degli istrumenti che servono alle osservazioni astronomiche.

CAPITOLO SECONDO.

Del moto diurno e della figura della Terra.

CAPITOLO TERZO.

Del sole.

CAPITOLO QUARTO.

Della luna.

CAPITOLO QUINTO.

Dei pianeti e delle comete.

CAPITOLO SESTO.

Della gravitazione universale.

CAPITOLO SETTIMO.

Delle stelle e delle nebulose.

AGGIUNTE PRINCIPALI

APPENDICE

CORREZIONI PRINCIPALI

Pag.	linea		correggi	
20	30	la ruota *e*	correggi	la ruota *e*
» 43	» 3	della vicinanza	»	per la vicinanza
» 70	» 28 29	Hween	»	Hwene
» 78	» 31	arco	»	angolo
» »	» 32	angolo	»	arco
» 126	» *ultima*	accresciuta	»	diminuita
» 133	» 27 28	greco σιδυς	»	latino *sidus*
» 195	» *ultima*	della vite *e*	»	della vite *c'*
» 195	» 8	la loro semi-somma	»	la loro semi-somma aumentata o diminuita di 180,° secondochè essa sia minore o maggiore di questo numero.
» »	» 25	semi-somma dei due poli istrumentali	»	semi-somma dei due poli istrumentali aumentata o diminuita di 180,° secondochè sia minore o maggiore di questo numero.
» 203	» *ultima*	semi-differenza	»	semi differenza diminuita di 90.°
» 218	» 18	a tal piccola distanza da essa da potersi valutare	»	a piccola distanza da questa superficie, secondo il significato che abbiamo convenuto di attribuirle.
» 250	» 19	Convenzione Nazionale	»	Assemblea Nazionale
» »	» 27	Convenziono	»	Assemblea Nazionale
» 257	» 24	1000 ", 86	»	1000 ", 036
» 259	» 32	celeste	»	terrestre
» 259	*penultima*	il gnomone	»	la meridiana
» 277	» 9	primavera	»	autunno
» 303	» 4	fra OT e TM	»	fra OT e OM.
» 311	» 36	dei due diametri	»	di due diametri
» 392	*Nota*			*Al desiderio annunciato da questa nota finalmente venne fatta ragione.*

Pag.	linea			
Pag. 451	linea 5	ogni volta che la luna è in quadratura, e il secondo ogni volta che quest'astro è nelle sizigie	*correggi*	ogni volta che il sole coincide con uno dei nodi dell'orbita della luna, e il secondo ogni volta che il sole è lontano di 90° da questi nodi.
» »	» 38	faccia due volte il giro del cono ROR' da un novilunio fino al novilunio seguente, vale a dire nel periodo di circa 29 giorni 1/2	»	faccia il giro del cono ROR' nel tempo che il sole impiega a passare dal nodo ascendente della luna al suo nodo discendente, o dal nodo discendente al nodo ascendente, tempo che è di circa 173 giorni
» 464		564	»	464
» »	» 24	nel solo caso in cui l'epatta è XXIV	»	nei soli casi in cui l'epatta è XXIV, o 25 (V. avanti)
» 465	» 16	come questi	»	come quelli
» »	» 25	veri sui medj	»	medj sui veri
» 468	» 8	25 aprile	»	20 aprile
» »	» 18	25 marzo	»	22 marzo
» »	» 31	succederà	»	è succeduto
» 498	» 33	al principio, alla fine	»	alla fine, al principio
» 530	» 5	MO ovvero M'O	»	MO ovvero M'O·
» 531	» 22	superficie pallida	»	superficie irregolare
539	*tavoletta*	1. satellite 0, 300	»	1. satellite 0, 309
558 »	» 14	nona, o decima grandezza	»	nona, decima o anche minore grandezza
» 592	» 17	Fino	»	284. Fino.
» 629	» 11	della circonferenza della terra	»	della circonferenza di un circolo massimo della terra.
» 632	» 25	alla terra del sole	»	alla terra che al sole
» 645	» 5	ellissoide	»	ellissoidica
» 646	» 22	ellissoide	»	ellissoidica
» 667	*penultima*	323 n	»	3237m
» 707	» 24, 25	dalla luna	»	dalla luce

OPERE SCIENTIFICHE

PUBBLICATE DALL'EDITORE CARLO TURATI

BIBLIOTECA POLITECNICA

DELAUNAY. Corso elementare di Astronomia. — Traduzione con note del D.r *Curzio Buzzelli*, aggiunto astronomo all'Osservatorio di Brera. — Un vol. di 740 pag., con 411 fig. nel testo. . . Fr. 10 —

ETTINGSHAUSEN. Elementi di Fisica, tradotti da *Giuseppe Ambrosoli*, dottore in Matematica. — Un vol. di 740 pag., con 186 fig. nel testo. . . » 10 —

OMBONI. Elementi di Storia naturale.

Zoologia. — Un vol. di 488 pag., con 109 fig. nel testo. . . . . » 6 —

Mineralogia. — Un vol. di 382 pag., con 82 fig. nel testo. . . . . » 6 —

Geologia. — Un vol. di 456 pag., con 68 fig. nel testo e 3 tavole in rame colorate. . . . . . » 6 —

Botanica. — Un vol. di 530 pag., con 161 fig. nel testo. . . . . » 6 —

STOPPANI. Studii geologici e paleontologici sulla Lombardia. — Un vol. di 480 pag., con 5 tavole litografiche ed un prospetto comparativo. . . . » 6 —

In corso di stampa.

DELAUNAY. Corso elementare di Meccanica teorica ed applicata. — Traduzione con note del D.r *Carlo Bingler*, ingegnere meccanico e di strade ferrate.

Un volume di circa 800 pagine, con figure nel testo. Formerà dieci puntate da 80 pagine ciascuna, al prezzo di una lira italiana. — È fuori l'ottava.